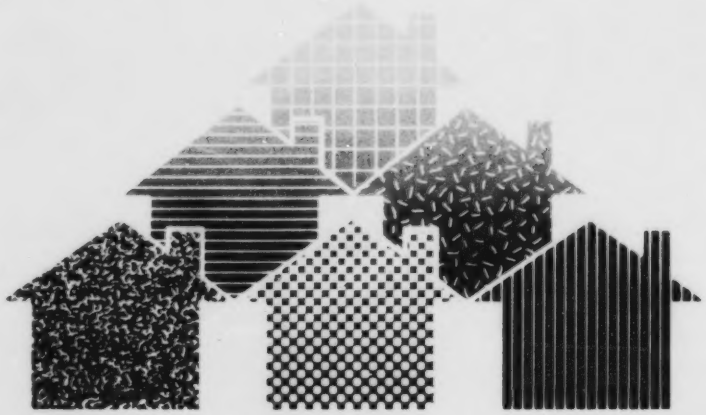
Techniques synergétiques résidentielles



Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada

Canada

102-03071/

Techniques synergétiques résidentielles

Manuel préparé pour

Ressources naturelles Canada (RNCan)

par

REIC Ltd.

Données de catalogage avant publication (Canada)

Vedette principale au titre :

Techniques synergétiques résidentielles : manuel.

Publ. aussi en anglais sous le titre: Whole house retrofit techniques.
Publié antérieurement : Énergie, Mines et ressources Canada, Programmes énergétiques domiciliaires, 1987.
Comprend des références bibliographiques.
ISBN 0-662-94497-6
N° de cat. M91-9/1-1987F

1. Habitations — Économies d'énergie.
2. Habitations — Canada — Économies d'énergie.
I. REIC Ltd. II. Canada. Direction de l'efficacité énergétique et des énergies de remplacement.

TJ163.5D86W83 1994 693.8'32 C94-980099-6

©Ministre des Approvisionnements et Services 1987
Réimprimé février 1994

N° de catalogue : M91-9/1-1987F

Si vous désirez recevoir des exemplaires additionnels de ce livret gratuit, veuillez écrire à l'adresse suivante :

Publications Éconergie
a/s Groupe Communication Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0S9

Télécopieur : (819) 994-1498

Also available in English under the title: "Whole House Retrofit Techniques"
Catalogue No. M91-9/1-1987E

Le présent rapport a été commandité par le ministère des Ressources naturelles Canada et préparé par REIC Ltd., de Toronto. Les vues et opinions qui y sont exprimées sont celles des auteurs, qui les communiquent à titre documentaire seulement. Le présent rapport n'est ni un exposé des vues du gouvernement du Canada ni une marque d'approbation de produits ou d'entitées commerciales et ne peut être substitué aux normes et codes pertinents..

Ni le gouvernement du Canada ni ses ministres, fonctionnaires, employés ou agents n'offrent de garantie quant à l'exactitude et à l'exhaustivité de ce qui est déclaré dans le présent rapport et n'acceptent de responsabilité quant aux conséquences de l'emploi des renseignements qu'on y donne.

Il aurait été impossible de produire ce rapport sans le concours technique et les observations des personnes désignées à l'annexe E. Ressources naturelles Canada remercie ces gens de leur précieuse collaboration.

Remerciements

Le présent manuel a été produit par REIC Ltd., de Toronto, et traduit en français par la société Translex d'Ottawa. Les auteurs remercient les personnes désignées à l'annexe E de l'aide qu'elles leur ont apportée.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
CHAPITRE 1	***APERÇU***	1
	• 1.1 Qu'est-ce qu'une réfection complète?	2
	• 1.2 Pourquoi la réfection?	3
	• 1.3 Quelle est la portée de la réfection?	4
	• 1.4 Quels genres de maisons se prêtent à la réfection?	5
	• 1.5 Quelles sont les suites d'une réfection complète?	5
CHAPITRE 2	***DÉPLACEMENT DE LA CHALEUR, DE L'AIR ET DE L'HUMIDITÉ DANS LA MAISON***	7
	• 2.1 La maison et l'énergie	8
	• 2.2 La propagation de la chaleur	9
	• 2.3 Les pertes par transmission	10
	• 2.4 Le renouvellement de l'air et les pertes de chaleur	13
	• 2.5 La propagation de l'humidité	16
CHAPITRE 3	***ÉVALUATION DE LA MAISON ET DE SON PROPRIÉTAIRE***	19
	• 3.1 Évaluation des besoins du propriétaire	20
	• 3.2 Évaluation de la maison	22
	• 3.3 Évaluation de la rentabilité des travaux envisagés	25
	• 3.4 Estimation des économies énergétiques et pécuniaires possibles	26
CHAPITRE 4	***ÉVALUATION DES OPTIONS : EXTÉRIEUR c. INTÉRIEUR***	29
	• 4.1 Réfection par l'extérieur	30
	• 4.2 Réfection par l'intérieur	31
CHAPITRE 5	***GÉNÉRALITÉS SUR L'EXÉCUTION DE LA RÉFECTION***	33
	• 5.1 Matériaux	34
	• 5.2 Main-d'oeuvre et supervision	40
CHAPITRE 6	***RÉFECTION DES FONDATIONS***	45
	• 6.1 Principes du bâtiment	46
	• 6.2 Réfection du sous-sol par l'extérieur	48
	• 6.3 Réfection du sous-sol par l'intérieur	50
CHAPITRE 7	***RÉFECTION DES MURS DE SUPERSTRUCTURE PAR L'EXTÉRIEUR***	55
	• 7.1 Principes de conception et d'exécution	56
	• 7.2 Méthodes d'isolation possibles	60
	• 7.3 Structures particulières	74
CHAPITRE 8	***RÉFECTION DES MURS DE SUPERSTRUCTURE PAR L'INTÉRIEUR***	77
	• 8.1 Principes de conception et d'exécution	78
	• 8.2 Méthodes d'isolation possibles	82

TABLE DES MATIÈRES

		Page
CHAPITRE 9	***FENÊTRES***	91
	• 9.1 Difficultés et possibilités	92
	• 9.2 Considérations conceptuelles	92
	• 9.3 Remplacement	96
	• 9.4 Amélioration	97
	• 9.5 Positionnement et installation	98
CHAPITRE 10	***ISOLATION DU TOIT ET DE L'ENTRETOIT***	103
	• 10.1 Exigences d'une bonne réfection	104
	• 10.2 Décision	105
	• 10.3 Renouvellement de l'isolant	105
	• 10.4 Isolation du plafond cathédrale et du toit plat	107
	• 10.5 Réfection du toit par l'extérieur	111
CHAPITRE 11	***VENTILATION ET CHAUFFAGE***	115
	• 11.1 Besoins de ventilation	116
	• 11.2 Conception du système de ventilation	117
	• 11.3 Répercussions sur le système de chauffage	120
	• 11.4 "Réglage fin" du système de distribution	121
	• 11.5 Chauffe-eau	122
ANNEXE A	***RÉFÉRENCES TECHNIQUES***	123
ANNEXE B	***BIBLIOGRAPHIE ANNOTÉE***	129
ANNEXE C	***GLOSSAIRE***	131
ANNEXE D	***ÉTUDES DE CAS***	135
ANNEXE E	***REMERCIEMENTS***	147

1

APERÇU

Le présent manuel s'adresse aux entrepreneurs canadiens qui souhaitent tirer profit des importants débouchés offerts par la réfection "énergétique" d'immeubles d'habitation.

Les renseignements qu'on y trouve sont donnés à titre d'indications seulement. Il ne s'agit pas de prescriptions d'application universelle, mais plutôt d'éléments de connaissances qui permettront aux intéressés de prendre des décisions éclairées, grâce à une meilleure compréhension des conséquences théoriques, techniques et pratiques de la "réfection complète".

Les techniques du bâtiment exposées ci-après sont celles qu'emploient divers entrepreneurs d'un bout à l'autre du pays. Elles ont toutes été mises à l'essai, mais il est probable que seulement quelques-unes d'entre elles ont été parfaitement éprouvées, contrôlées et évaluées. La variété des méthodes de "réfection complète" en usage d'un bout à l'autre du pays atteste la multiplicité des options existantes. Chaque entrepreneur aura vraisemblablement ses préférences, qui lui seront dictées par le prix des divers combustibles et la disponibilité de la main-d'oeuvre et des matériaux dans sa région, ainsi que les exigences du marché précis auquel il s'adresse. Il faudrait donc voir dans ce manuel le reflet de l'état actuel d'une industrie en évolution.

Le présent chapitre remet la "réfection complète" en contexte, en prévision de l'exposé détaillé des diverses techniques de la réfection de la maison entière qui vient ensuite. Il résume les concepts mis de l'avant dans le reste du manuel et délimite le cadre d'ensemble dans lequel on prendra des décisions précises.

1.1 QU'EST-CE QU'UNE RÉFECTION COMPLÈTE?

Pour les fins du présent manuel, les expressions "réfection complète" et "réfection de la maison entière" sont interchangeables et désignent une amélioration majeure du rendement énergétique d'une maison. Tous les aspects de la "réfection complète" - motifs d'un travail de cette envergure, exécution des différentes tâches et conséquences des travaux - seront abordés.

On présente ici la réfection complète comme une façon d'aborder le travail à exécuter plutôt que comme un programme de tâches précises. L'entrepreneur sera ainsi en mesure de mieux adapter les différents éléments d'un projet aux exigences particulières du parc d'habitations, du climat et, surtout, de la clientèle de sa localité.

Les expressions "réfection de la maison entière" et "réfection complète" ne s'assortissent pas de critères de rendement précis. De fait, la nature même de la réfection - diminution d'ensemble de la consommation de combustible, amélioration de l'isolement thermique et de l'étanchéité, etc. - sera fonction de la région, de la maison et du client.

Bien que de conception différente dans chaque cas, le projet de réfection complète comporte néanmoins plusieurs éléments caractéristiques.

- **Grand isolement thermique** - La réfection assure un isolement thermique supérieur à ce que procure la rénovation traditionnelle. De plus, l'isolant doit être installé de manière à empêcher la circulation d'air et à diminuer les ponts thermiques.

- **Construction étanche** - La réfection vise surtout à diminuer les déplacements d'air incontrôlés à travers l'enveloppe du bâtiment. Un pare-air continu assure au propriétaire un bâtiment solide et exempt de courants d'air.

- **Contrôle de l'humidité** - La réfection suppose la mise en place d'un pare-vapeur à l'intérieur de la maison pour limiter la dispersion de la vapeur d'eau. Elle comporte en outre l'installation judicieuse de solins et de revêtements qui, à l'extérieur, feront obstacle à l'infiltration d'air et d'eau dans l'enveloppe.

- **Ventilation contrôlée** - La réfection garantit la salubrité de l'air de la maison, grâce à une ventilation contrôlée. Le système de ventilation apporte de l'air frais à toutes les parties de la maison.

- **Efficacité et sûreté du système de chauffage** - La réfection suppose l'amélioration du système de chauffage, par l'augmentation du taux de combustion de l'appareil existant ou l'installation d'un système à haut rendement. Elle garantit qu'on pourvoit aux besoins en air comburant. Le système de distribution de chaleur est "réglé" de façon à répondre aux besoins de la maison modernisée.

La réfection complète constitue une nouvelle façon d'aborder la rénovation domiciliaire; elle peut donner un tout autre aspect à la maison et améliorer son rendement. Grâce à elle, le propriétaire peut jouir d'une maison répondant aux mêmes normes que les nouvelles habitations à haut rendement énergétique.

Pour mener un projet à bien, l'entrepreneur en réfection doit :

- considérer la maison entière comme un système intégré et se familiariser avec les effets de tous les travaux de rénovation et de réfection majeure sur la bonne marche de la maison.

- prendre en considération tous les aspects de la science du bâtiment qui entrent en ligne de compte dans la rénovation, afin de s'assurer que les éléments soumis à la réfection donneront le rendement escompté, aux plans thermique et structurel.

- planifier et coordonner les mesures de réfection de manière à tirer avantage de tous les travaux de rénovation générale.

1.2 POURQUOI LA RÉFECTION?

Avant d'énoncer en détail les principes et techniques d'une réfection favorisant un bon rendement énergétique, il convient d'examiner les motifs de la réfection complète. On entreprend, en général, ce genre de travail pour :

- économiser de l'énergie et des sous;
- rendre la maison plus confortable ou
- profiter de travaux de rénovation en cours.

La plupart des propriétaires sont motivés par plus d'une de ces considérations.

Réfection dictée par un souci d'économie

Certains propriétaires se lancent dans de grands travaux de réfection dans l'espoir de diminuer leur consommation d'énergie et, du même coup, leurs frais de chauffage et de climatisation. La réfection contribue effectivement à diminuer la consommation d'énergie et les frais de combustible en :

- limitant les pertes de chaleur par conduction;
- réduisant les pertes de chaleur associées à un taux de renouvellement d'air excessif;
- augmentant le rendement du système de distribution de la chaleur et
- augmentant l'efficacité de l'appareil de chauffage.

La réfection de la maison entière fait baisser considérablement les frais de combustible. La somme économisée dépendra du type d'habitation, des techniques de réfection employées et du mode de vie et des habitudes des occupants. On explique au chapitre 5 comment estimer le coût et les avantages possibles d'une réfection complète.

Réfection dictée par un désir de confort

Augmenter le confort de la maison est l'un des motifs principaux de toute décision d'entreprendre des travaux de réfection. Bien qu'il soit difficile de quantifier ce genre d'avantage ou d'en déterminer la rentabilité, on évoque plus souvent le confort assuré que les épargnes pour caractériser le rendement supérieur de la maison à haut rendement énergétique.

La réfection complète entraînera une amélioration notable du confort de l'habitation, notamment sous les rapports suivants :

Diminution des courants d'air - L'importance majeure accordée à l'étanchéisation au cours de la réfection fait diminuer le nombre de fissures et d'ouvertures de l'enveloppe du bâtiment par où il peut y avoir infiltration d'air froid, en hiver, et fuite d'air chauffé. Le propriétaire d'aujourd'hui s'attend à un plus grand confort, particulièrement s'il habite une maison de construction assez récente. L'absence de courants d'air dans la maison où l'on a effectué des travaux de réfection sera donc une considération à laquelle il accordera beaucoup de poids.

Humidité plus élevée - Étant donné l'étanchéité supérieure du bâtiment, le niveau d'humidité y est plus convenable, car le renouvellement de l'air se fait de façon contrôlée, non plus accidentelle. Le contrôle de l'humidité est assuré par un système de ventilation mécanique, dont l'aménagement fait partie intégrante de la réfection.

Assainissement de l'air - Le système de ventilation mécanique assure un meilleur contrôle du taux de renouvellement de l'air dans l'habitation. Il garantit au propriétaire un approvisionnement continu d'air frais dans toutes les parties de la maison.

Distribution uniforme de la chaleur - Une réfection complète assure une circulation plus uniforme de la chaleur dans tout l'immeuble, ce qui ajoute au confort des occupants. L'amélioration de l'enveloppe thermique et du système de distribution d'air devraient aider à diminuer la stratification thermique et à uniformiser la distribution de la chaleur dans l'immeuble.

Amélioration de l'insonorisation - L'augmentation de l'isolement thermique et l'étanchéisation de l'enveloppe du bâtiment aident à assourdir les bruits extérieurs et à créer un intérieur beaucoup plus paisible.

Réfection intégrée à des travaux de rénovation

Bien que le propriétaire puisse désirer rendre sa maison plus confortable ou diminuer sa consommation de combustible, sa décision d'entreprendre une réfection complète tient parfois surtout à la possibilité d'exécuter les travaux en même temps que des rénovations prévues ou en cours. Ce peut être difficile de justifier le coût d'une réfection complète par des arguments strictement financiers, particulièrement lorsque le coût cité comporte des éléments qui n'ont, en apparence, rien à voir avec le rendement énergétique, tels l'achat de revêtement extérieur ou intérieur, le remplacement de la couverture, la peinture, etc.

Lorsque la réfection est "greffée" sur des travaux de rénovation prévus, le seul facteur à évaluer est le coût additionnel de l'amélioration du rendement énergétique. Engager de 40 $ à 50 $ du mètre carré dans la réfection d'un mur s'avérerait un piètre placement, du seul point de vue des économies d'énergie. Toutefois, si le propriétaire a déjà prévu d'engager 30 $ du mètre carré pour remplacer le revêtement mural, l'économique de la réfection s'en trouve de beaucoup améliorée.

Le propriétaire qui ne tient pas compte des possibilités d'augmenter le rendement thermique de sa maison, lorsqu'il fait des travaux de rénovation, laisse s'échapper une belle occasion.

On expose au chapitre 3 différents critères d'évaluation de l'état de la maison et des besoins du propriétaire, en fonction des travaux de réfection possibles.

1.3 QUELLE EST LA PORTÉE DE LA RÉFECTION?

La façon précise dont on aborde la réfection dépend naturellement de l'état de la maison et des désirs des occupants. Il peut ne pas être nécessaire d'entreprendre une réfection complète pour répondre aux besoins du propriétaire, compte tenu de l'état de la maison. La réfection est de trois types : réfection élémentaire, réfection intermédiaire et réfection complète, qui se distinguent par la somme des investissements requis et la complexité des travaux à exécuter.

La réfection élémentaire consiste, en règle générale, à éliminer les sources évidentes de pertes, en obturant les fuites d'air, ajoutant de l'isolant là où il n'y en a pas et remédiant au mauvais fonctionnement de l'équipement mécanique. Habituellement, ces travaux sont du ressort des entrepreneurs en isolation par injection et en entretien de systèmes de chauffage ou des experts-conseils en gestion de l'énergie. La majeure partie du travail peut s'effectuer sans causer plus que des dérangements mineurs aux occupants et suppose un investissement maximal de quelques centaines de dollars.

Le choix de ce type de réfection tient habituellement à un budget limité ou à l'état relativement neuf de l'habitation.

La réfection intermédiaire suppose en général des travaux d'isolation plus poussés, telle l'augmentation de l'isolement thermique des fondations et de la superstructure ou l'installation de nouvelles fenêtres. Les travaux de ce genre occasionnent des immobilisations plus considérables et peuvent causer plus de dérangements aux habitants de la maison. Dans la plupart des cas, leur exécution est influencée par celle de travaux de rénovation jugés nécessaires.

La réfection complète peut faire appel à bon nombre des techniques employées pour la réfection élémentaire ou intermédiaire. Elle est toutefois plus poussée, car elle touche tous les éléments de l'enveloppe, de même que l'équipement mécanique et la ventilation.

La réfection complète repose sur l'harmonisation des travaux et le concept de la maison "système intégré". Elle met l'accent sur le lien étroit qui existe entre l'isolement thermique de l'entretoit, des murs et du sous-sol, l'étanchéité, la nécessité d'une ventilation mécanique, les répercussions d'une baisse notable de la demande de chauffage et les besoins en air comburant.

Il n'y a pas deux maisons qui présentent les mêmes besoins de réfection et pour lesquelles on doive employer, ou puisse adopter, les mêmes techniques. La majeure partie du présent manuel porte sur les nombreuses techniques et méthodes convenant à une réfection complète.

1.4 QUELS GENRES DE MAISONS SE PRÊTENT À LA RÉFECTION?

Il y a des maisons de toutes les formes et de tous les styles et l'état de chacune lui est particulier. Ce ne sont pas toutes les maisons qui se prêtent à une réfection favorisant les économies d'énergie. Même si le propriétaire est déterminé à économiser l'énergie, ce ne serait pas sage d'engager de gros frais dans la réfection, quand la maison risque de ne pas tenir debout assez longtemps pour qu'on puisse amortir le coût des travaux envisagés. Certaines maisons se prêtent bien à de gros travaux de réfection par l'extérieur, tandis que d'autres conviennent davantage à une réfection par l'intérieur. Enfin, certains immeubles ne sont bons qu'à démolir.

Les maisons de construction plus récente qui sont en bon état, tant par leur apparence que par leur structure, ne se prêtent pas souvent à une réfection complète. Lorsque l'intérieur de la maison est bien fini et que l'extérieur ne nécessite pas de travaux, mieux vaut suggérer une réfection élémentaire comme l'étanchéisation et l'augmentation de l'isolement thermique de l'entretoit ou du sous-sol.

La maison la plus propice à une réfection complète est celle où l'on fait des travaux de rénovation majeure. C'est en effet quand on dénude l'intérieur de la maison ou qu'on prévoit d'importants travaux extérieurs (renouvellement du bardage, par exemple) que c'est le plus facile de justifier une réfection complète.

1.5 QUELLES SONT LES SUITES D'UNE RÉFECTION COMPLÈTE?

La mise en oeuvre de techniques de réfection de la maison entière a un effet tangible sur l'apparence de la maison, sur le confort qu'elle procure et sur son rendement. La plupart des changements en résultant s'avéreront pour le mieux : confort accru, diminution des frais d'entretien, etc. Toutefois, une réfection mal planifiée peut apporter de mauvaises surprises et obliger, par exemple, à installer un système de ventilation mécanique ou à modifier le système de chauffage.

Lorsque la réfection occasionne des problèmes, c'est habituellement parce qu'on n'a pas abordé le travail dans une perspective d'ensemble. Ainsi, l'insalubrité de l'air et le manque d'air comburant tiennent habituellement au fait qu'on a omis de ménager une ventilation mécanique adéquate. Lorsque le système de chauffage de la maison ne donne pas le rendement qu'il devrait, c'est habituellement parce qu'on a mal saisi l'interdépendance de l'enveloppe du bâtiment et du système de distribution.

Le chapitre 11 traite des effets de l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment sur l'équipement mécanique de la maison. Bien qu'il ne s'agisse pas d'un examen exhaustif du sujet, l'entrepreneur y trouvera une indication de la façon d'assurer le fonctionnement sûr des systèmes de ventilation et de chauffage de la maison.

DÉPLACEMENT DE LA CHALEUR, DE L'AIR ET DE L'HUMIDITÉ DANS LA MAISON

La réfection de la maison entière suppose habituellement l'intégration de mesures d'économie d'énergie à des travaux de rénovation. Considération peut-être plus importante encore, il faut, pour que la réfection réussisse, reconnaître que la maison moderne est un système complexe : toute modification apportée à son enveloppe se répercutera non seulement sur la demande de chauffage, mais aussi sur la salubrité de l'air, la ventilation et la durabilité de la structure. On trouvera aux chapitres 5 à 9 du présent manuel de nombreux exemples de programmes et de techniques convenant à ce genre de travail.

La réalité reproduit rarement les exemples donnés dans les manuels. Le travail de rénovation est tel que l'entrepreneur doit évaluer chaque maison individuellement et dresser un plan convenable, d'après :

- les besoins et les souhaits du propriétaire;
- l'âge et l'état général de la maison;
- le type de construction;
- les conditions climatiques locales et
- la disponibilité locale de matériaux spécialisés.

Le présent chapitre expose le principes de construction se rapportant aux pertes de chaleur et à la propagation de l'humidité. Il indique également comment ces principes s'appliquent à la réfection. Ayant bien saisi ces derniers, l'entrepreneur pourra choisir les techniques qui conviennent aux conditions particulières d'un site ou apporter les adaptations nécessaires pour produire ces techniques.

2.1 LA MAISON ET L'ÉNERGIE

L'énergie sous toutes ses formes est une capacité de travail; la chaleur est simplement la forme d'énergie la plus élémentaire. Dans la maison, on utilise l'énergie à diverses fins; mais, pour la maisonnée moyenne, c'est le chauffage qui consomme le plus d'énergie.

Dès qu'il y a un écart de température, la chaleur se déplace des endroits chauds vers les endroits froids. En hiver, la chaleur s'échappe continuellement de la maison, de sorte que, pour maintenir une température constante, il faut fournir suffisamment de chaleur pour compenser les pertes.

Pertes de chaleur

Les pertes de chaleur sont de trois types : pertes par transmission, pertes dues au renouvellement de l'air et pertes dues à la combustion (figure 2.1).

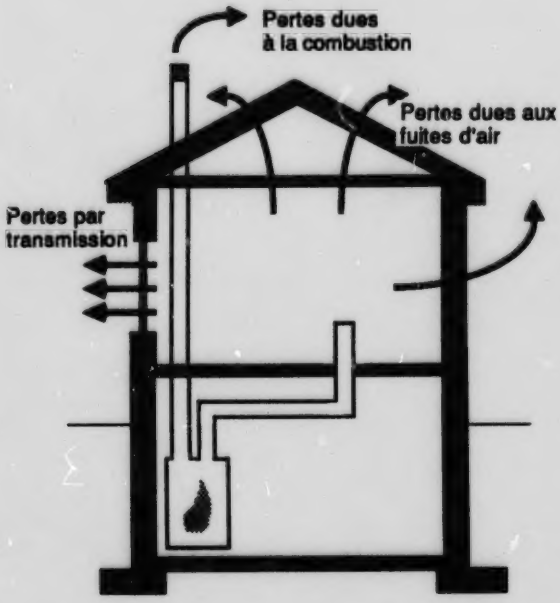


Fig. 2.1 Pertes de chaleur

Les pertes par transmission (c.-à-d. par conduction ou par rayonnement) sont celles qui se font par l'enveloppe du bâtiment. Leur importance relative dans diverses parties de la maison - murs de la superstructure, plafonds, sous-sol, portes et fenêtres, par exemple - dépend du type de maison.

Les pertes dues au renouvellement de l'air par ventilation ou fuite d'air sont des pertes d'air chauffé qui s'échappe à travers l'enveloppe de la maison. Elles peuvent constituer une forte proportion des pertes de chaleur relevées, soit habituellement entre un quart et un tiers des pertes totales.

Les pertes dues à la combustion se produisent quand le système de chauffage utilise de l'air chauffé de la maison, pour alimenter la combustion et entretenir un bon tirage dans la cheminée, et rejette finalement de l'air chaud à l'extérieur.

Sources de chaleur

Les sources de chaleur de la maison sont, entre autres, celles qui sont illustrées à la figure 2.2.

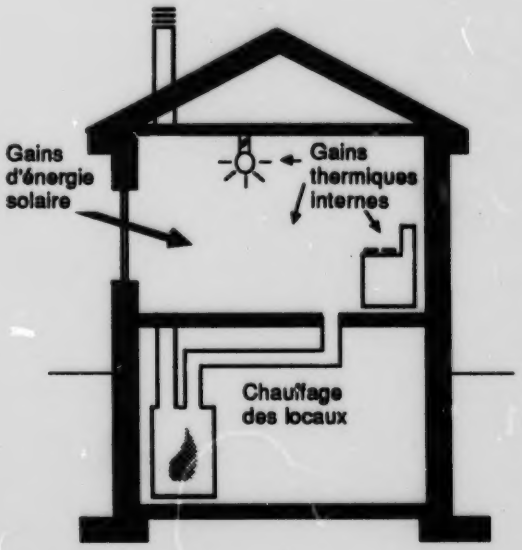


Fig. 2.2 Sources de chaleur

Chauffage des locaux - Le chauffage des locaux est un moyen artificiel de maintenir une température confortable dans la maison, lorsque les gains d'énergie solaire et les gains thermiques internes ne parviennent pas à compenser les pertes de chaleur de la maison.

Gains thermiques internes - Les lampes, les appareils électroménagers et le chauffe-eau produisent tous, accessoirement, une chaleur utile qui s'ajoute à celle que dégagent les occupants de la maison.

Gains d'énergie solaire - Tout dépendant de la grandeur, du type et de l'orientation des fenêtres, l'énergie solaire peut, par moments, fournir une part appréciable de la chaleur de la maison. On trouvera au chapitre 9 les principes d'une conception propice à l'utilisation de l'énergie solaire.

La réfection de la maison entière changera du tout au tout le bilan énergétique de la maison. Elle peut amener une baisse de 50 % à 90 % des pertes de chaleur et, de ce fait, faire baisser la demande de chauffage des locaux.

2.2 LA PROPAGATION DE LA CHALEUR

La chaleur est une forme d'énergie associée à l'action moléculaire, le froid étant simplement une absence de chaleur. Tout déplacement de chaleur est dû à un écart de température et suppose un mouvement d'un point chaud vers un point froid.

La chaleur se propage de trois façons : par conduction, par convection et par rayonnement. Le taux de transfert de chaleur est fonction de l'écart de température entre la zone chaude et la zone froide, ainsi que de la résistance opposée au transfert par les matériaux se trouvant sur le trajet de propagation. Pour plus de clarté, on expliquera ici un à un chacun de ces trois phénomènes physiques. Il faut bien comprendre toutefois que, dans un ensemble aussi complexe qu'une maison, ils se produisent simultanément (figure 2.3).

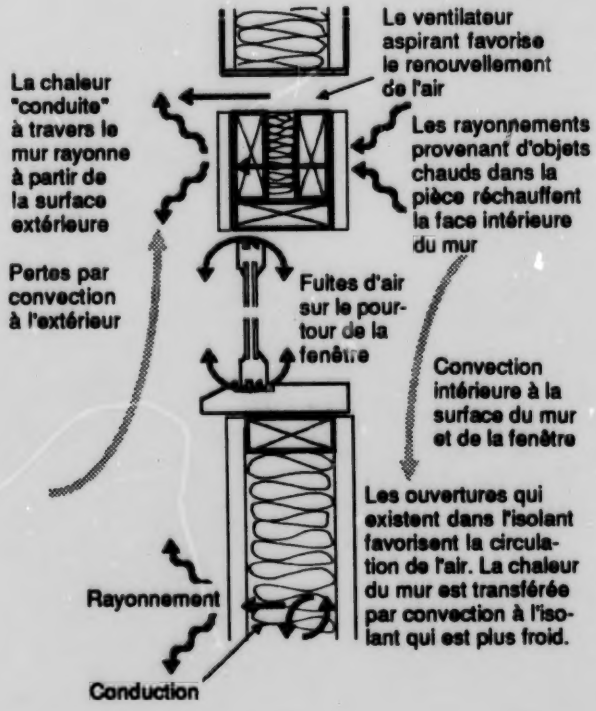


Fig. 2.3 Propagation de la chaleur

La conduction est le seul moyen par lequel la transmission de chaleur se fait dans la matière solide. Elle est le résultat de l'activité des molécules constituant la matière et se produit lorsqu'une zone est plus chaude qu'une autre. L'activité moléculaire (la chaleur) est communiquée aux molécules moins actives. La conduction se poursuit jusqu'à ce que la température soit uniforme dans toute la matière.

La convection désigne le transfert de chaleur produit lorsqu'une fluide (liquide ou gaz) s'écoule sur une surface plus chaude ou plus froide que lui. Ainsi, quand de l'air frais passe sur une surface chauffée, la chaleur accumulée dans cette dernière est transmise à l'air et s'échappe avec lui. Le phénomène inverse se produit quand de l'air chaud entre en contact avec une surface plus froide. La convection peut découler d'un écart de température ou de pression ou encore être provoquée par un moyen mécanique, tel un ventilateur.

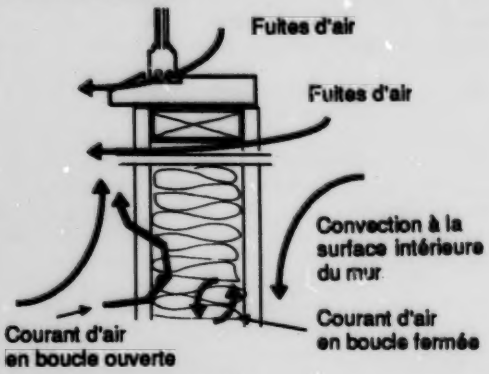


Fig. 2.4 Circulation de l'air

Les principales causes de pertes de chaleur par convection relevées dans la maison sont illustrées à la figure 2.4 :

- circulation d'air à la surface de l'enveloppe et
- courants d'air en boucles ouvertes ou fermées à l'intérieur des murs isolés.

Le rayonnement est un phénomène unique. C'est la seule forme de transfert de chaleur qui ne suppose aucun intermédiaire. Le rayonnement se fait aussi bien dans l'air que dans le vide. Du point de vue des pertes d'énergie, il est rarement considéré seul. On en étudie habituellement les effets en combinaison avec ceux des phénomènes de conduction ou de convection.

L'énergie rayonnante du soleil peut ajouter beaucoup aux gains thermiques de la maison. L'application de la théorie de l'énergie rayonnante au domaine de l'habitation a visé surtout à améliorer le rendement des fenêtres, pour maximiser les gains d'énergie solaire pendant l'hiver et limiter la charge de climatisation en été. Cette optique est expliquée plus longuement au chapitre 9.

Dans le domaine du bâtiment, les transferts de chaleur par l'enveloppe sont essentiellement,

- soit des pertes par transmission, c'est-à-dire des pertes dues aux effets combinés de la conduction, du rayonnement et de la convection à l'intérieur du bâtiment,
- soit des pertes dues au renouvellement d'air, c'est-à-dire des pertes dues aux effets de la ventilation et des fuites d'air.

2.3 LES PERTES PAR TRANSMISSION

C'est sur le transfert de chaleur par conduction que se fonde l'analyse des pertes par transmission à travers les matériaux et sous-ensembles de la maison. L'entrepreneur peut évaluer le rendement de divers types d'enveloppe et prévoir ensuite la capacité que devra avoir le système de chauffage requis après la réfection. Comme on le verra au chapitre 5, les pertes de chaleur associées au type de bâtiment englobent celles qui découlent du renouvellement de l'air. L'évaluation des pertes de chaleur peut être exécutée manuellement ou par simulation informatique.

2.3.1 *Propagation de la chaleur dans l'enveloppe*

Comme on l'a dit précédemment, la conduction dépend d'un écart de température, la chaleur s'échappant toujours d'un point chaud vers un point froid. Les calculs employés pour analyser les pertes thermiques par conduction supposent que la propagation de la chaleur se fait toujours dans un sens seulement et que la baisse de température constatée est constante dans toute l'enveloppe. Bien que la propagation de la chaleur se fasse en réalité dans plusieurs directions, le procédé normalisé de calcul donne des résultats acceptables, car il suppose une propagation linéaire.

2.3.2 *Calcul des pertes de chaleur par conduction*

Les caractéristiques du transfert de chaleur par conduction sont les éléments fondamentaux de l'équation des pertes de chaleur donnée ci-après.

$$\text{chaleur transférée} = \frac{\text{superficie x écart de température}}{\text{résistance}}$$

Cette équation s'exprime ainsi :

$$Q = \frac{S \times \Delta T}{R} \quad \text{ou} \quad Q = U \times S \times \Delta T$$

lorsque :

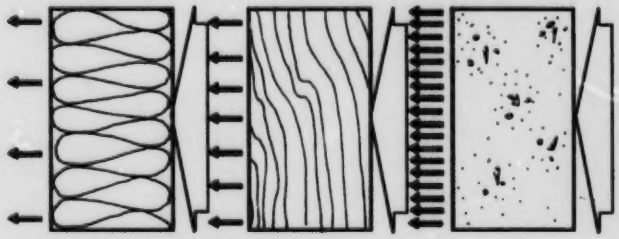
Q est le taux de transfert de chaleur constaté dans une superficie donnée du matériau ou de l'ensemble étudié. Q s'exprime en watts ou en joules par seconde (W/s ou J/s).

R est la résistance du matériau ou de l'ensemble au transfert de chaleur par conduction. La résistance d'un matériau est égal à l'inverse de sa conductivité. Autrement dit, les mauvais conducteurs sont de bons isolants. Plus la résistance d'un matériau est élevée, mieux celui-ci fait obstacle au transfert de chaleur par conduction. La résistance d'un matériau donné dépend de l'épaisseur utilisée. Celle des matériaux de construction courants s'exprime en fonction du millimètre ou encore d'une épaisseur précise dans le cas des matériaux se vendant à l'unité, comme les blocs de béton. La résistance de la plupart des matériaux de construction (figure 2.5) est indiquée aux tableaux de l'annexe A. Elle s'exprime en unités RSI (°C.m²/W).

Pour calculer la valeur RSI globale d'un sous-ensemble donné, on calcule d'abord la valeur RSI correspondant à l'épaisseur de chacun des matériaux employés, puis on en fait le total. On ajoute ensuite à ce montant la valeur RSI de la lame d'air qui adhère à la surface intérieure et extérieure du mur.

U désigne la conductivité du matériau, c'est-à-dire sa capacité de transférer la chaleur par conduction. La valeur U d'un matériau correspond au taux du transfert de chaleur, en watts ou en joules par seconde, à travers un échantillon d'un millimètre d'épaisseur, compte tenu d'un écart de température de 1 °C. Elle s'exprime en W/°C.m².

Transfert de chaleur par conduction



	Natte de fibres de verre	Bois	Béton (1 760 kg/m³)
RSI	3,5	1,2	0,2
U	0,29	0,82	5,49

Fig. 2.5 ***Valeurs RSI et U relatives de différents matériaux, de 140 mm d'épaisseur***

ΔT exprime l'écart de température relevé entre les deux côtés d'un ensemble, habituellement entre la température de la pièce et la température extérieure. Plus l'écart de température est prononcé, plus le taux de conduction est élevé. ΔT s'exprime en °C.

Lorsqu'on doit déterminer le taux de transfert de chaleur à travers l'enveloppe pour dimensionner l'équipement de chauffage, on emploie habituellement comme valeur ΔT la "température de calcul ou température nominale". Cette valeur correspond à ce qu'on estime devoir être l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur le jour le plus froid de l'année. Elle n'est dépassée que dans 1 % à 2,5 % des cas. L'évaluation des pertes de chaleur enregistrées à la température de calcul permet donc d'estimer le taux maximal de pertes de chaleur de la maison.

S correspond à la superficie du matériau ou de l'ensemble étudié, en mètres carrés. La conception de l'enveloppe d'un bâtiment met l'accent sur la diminution des pertes de chaleur par les parties ayant la plus grande superficie.

Du point de vue des pertes de chaleur globales, une résistance assez faible est acceptable dans le cas de parties de l'enveloppe qui sont de superficie restreinte. Il faut néanmoins faire attention d'isoler suffisamment les fenêtres en saillie et les solives de bordure et de rive pour éviter les surfaces froides et d'éventuels problèmes de condensation.

On peut, à l'aide de l'équation des pertes de chaleur donnée ci-dessus, évaluer le rendement de divers types de construction pour une superficie précise de l'enveloppe. On verra au chapitre 11 comment dimensionner l'équipement de chauffage d'après les pertes de chaleur dues au type de construction et calculer la consommation annuelle de combustible pour faire une estimation des économies d'énergie engendrées par les mesures de réfection.

2.3.3 *Conception limitant les pertes de chaleur par conduction*

Se fondant sur les pertes de chaleur calculées (et sur son expérience), l'entrepreneur pourra mieux saisir l'importance d'une bonne conception de la réfection. Celle-ci maximise l'isolement thermique, tout en gardant au minimum l'emploi de matériaux d'ossature qui peuvent tenir lieu de ponts thermiques.

Ponts thermiques - Un pont thermique est un point faible de l'enveloppe par où la chaleur est aisément transférée par conduction. Par exemple, dans un pan de mur type, fait de poteaux de 38 mm sur 89 mm, il est évident que la résistance relevée au niveau des poteaux (figure 2.6b) est de beaucoup inférieure à celle que présente la partie isolée du mur (figure 2.6a). Cet écart n'est pas sans importance, car les poteaux peuvent représenter jusqu'à 20 % de la superficie totale du mur. Un emploi judicieux de la charpenterie et de revêtements intermédiaires isolés permettra de garder au minimum l'effet des ponts et thermiques existant dans un mur.

Résistance thermique du mur	RSI
Lame d'air intérieure	0,12
Placoplâtre de 13 mm	0,08
Natte de fibres de verre de 89 mm	1,80
Polystyrène extrudé de 38 mm	1,33
Planches à recouvrement	0,14
Lame d'air extérieure	0,03
Valeur RSI totale	3,50
Valeur U (1/RSI)	0,29

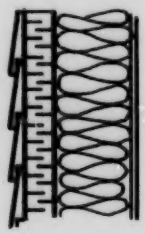


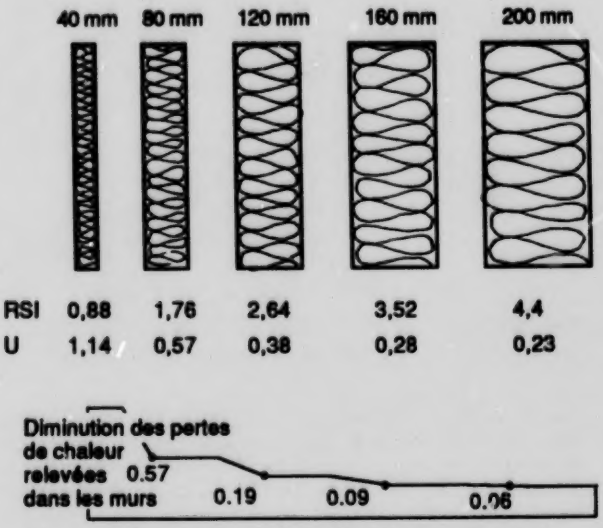
Fig. 2.6 (a)

Résistance thermique au niveau des poteaux	
Lame d'air intérieure	0,12
Placoplâtre de 13 mm	0,08
Poteaux de 89 mm	0,77
Polystyrène extrudé de 38 mm	1,33
Planches à recouvrement	0,14
Lame d'air extérieure	0,03
Valeur RSI totale	2,47
Valeur U (1/RSI)	0,40

Fig. 2.6 (b)

Isolement optimal - En théorie, il est possible de diminuer, au point de les rendre négligeables, les pertes de chaleur par conduction qui se produisent dans l'enveloppe du bâtiment. Toutefois, ce n'est pas pratique. En effet, alors que chaque couche supplémentaire d'isolant coûte la même chose que la couche précédente, les économies d'énergie engendrées, elles, vont en diminuant (figure 2.7). En réalité, l'isolement optimal dépend de plusieurs facteurs :

- contraintes physiques du bâtiment, c'est-à-dire espace où mettre de l'isolant dans les murs ou dans la charpente du toit;
- climat local, car la rigueur du climat augmente les possibilités d'économie assorties à l'addition d'isolant;
- coût prévu de l'isolant après installation;
- accessibilité des endroits à isoler et facilité avec laquelle on pourrait y ajouter de l'isolant par la suite (accessibilité relative de l'entretoit et des murs, par exemple);
- prix local du combustible et coût prévu à ce titre.



Nota : On suppose une valeur RSI 0,88 pour une natte isolante de fibres de verre de 40 mm d'épaisseur.

Fig. 2.7 Effet de l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant

2.3.4 *Maximisation de l'efficacité de l'isolant*

L'air stagnant est un excellent isolant et les matériaux isolants sont conçus pour empêcher la propagation de la chaleur, en emprisonnant l'air de différentes façons. Par exemple, ce ne sont pas les fibres de verre de l'isolant de fibres de verre qui s'opposent à la propagation de la chaleur. De fait, la fibre de verre est un excellent conducteur. Son utilité tient à sa capacité d'emprisonner l'air stagnant. Pour conserver à l'isolant sa résistance effective, il faut soigner la conception et l'exécution de l'isolation thermique, afin de préserver les alvéoles emprisonnant l'air.

Les matériaux isolants doivent être **posés uniformément**, afin d'emprisonner l'air stagnant et de donner l'effet recherché. Lorsqu'on ne remplit pas bien les espaces entre les poteaux, qu'il y a des replis ou des ouvertures dans l'isolant ou qu'on ne met pas suffisamment d'isolant autour des éléments faisant saillie, telles les canalisations, il peut se former des courants d'air qui diminueront la résistance d'ensemble de la partie isolée d'autant que 10 % à 20 %. Il faut aussi éviter de comprimer l'isolant, car sa résistance effective (par millimètre d'épaisseur installée) peut diminuer d'autant que 30 % (figure 2.8), tout dépendant de la compression.

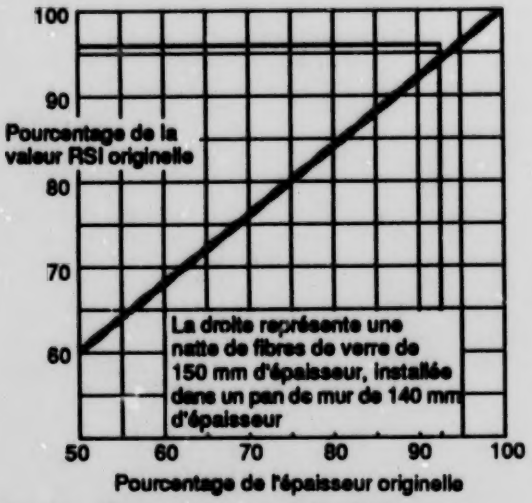


Fig. 2.8 ***Effet de la compression d'une natte isolante sur sa résistance thermique***

Les matériaux isolants doivent être recouverts d'un **pare-intempéries adéquat**, qui les protégera contre l'air pénétrant dans le mur sous l'effet du vent. Les infiltrations d'air peuvent en effet perturber l'air stagnant emprisonné dans le mur et diminuer la résistance thermique en abaissant la température de la partie isolée (figure 2.9).

Certains matériaux isolants doivent aussi être protégés de l'humidité, car celle-ci en amènera la compression. Les matériaux saturés sont de mauvais isolants, car l'air qu'ils renferment est remplacé par de l'eau, qui conduit plus facilement la chaleur. Il faut protéger l'isolant de l'humidité en le recouvrant d'un pare-intempéries qui empêchera la pluie de pénétrer et d'un **pare-air et pare-vapeur quelconque** qui le protégera de l'humidité émanant de la maison.

Fig. 2.9 ***Endroits à surveiller***

Une réfection bien exécutée permet :

- de bien isoler les parties du bâtiment présentant la plus grande superficie et celles où il serait difficile d'ajouter de l'isolant par la suite;
- de restreindre le plus possible les ponts thermiques, au moment de la conception et de la mise en place de l'ossature et du revêtement intermédiaire;
- de porter au maximum la résistance thermique efficace des matériaux isolants par une installation soignée, peu susceptible de laisser des ouvertures favorisant les courants d'air;
- d'assurer une protection contre les intempéries, afin de préserver l'isolant des effets de la pluie et du vent et
- de ménager un pare-air et pare-vapeur pour protéger l'isolant de l'air humide provenant de la maison.

2.4 LE RENOUVELLEMENT DE L'AIR ET LES PERTES DE CHALEUR

Le renouvellement de l'air se fait de deux façons. Il peut s'agir d'un renouvellement contrôlé, visant à assurer la ventilation par l'ouverture des fenêtres et le fonctionnement de ventilateurs aspirants ou de l'évent de la sécheuse, etc., comme il peut s'agir d'un renouvellement incontrôlé résultant d'infiltrations et d'exfiltrations par les fissures et ouvertures de l'enveloppe de la maison. Dans les maisons construites avant 1976, le renouvellement de l'air peut être la cause de 20 % à 50 % des pertes de chaleur.

Les fuites d'air se mesurent de différentes façons. Les résultats s'expriment en renouvellement d'air à l'heure (rah) et servent à estimer l'apport global des fuites d'air aux pertes de chaleur de la maison. Le taux de renouvellement naturel de l'air des maisons construites avant 1976 se situe le plus souvent entre 0,3 rah et 0,7 rah. Autrement dit, au cours d'une heure, de 30 % à 70 % du volume d'air contenu dans la maison est remplacé par de l'air extérieur. Le taux de renouvellement d'air des maisons de construction plus récente est inférieur à ces chiffres, tandis que celui des maisons très anciennes peut dépasser 1 rah.

2.4.1 *Calcul des pertes par fuite d'air*

L'équation ci-dessous sert à calculer les pertes de chaleur dues aux fuites d'air au cours d'une heure :

$Q = 0{,}361 \times V \times \Delta T \times rah$, lorsque :

Q est le taux de transfert de chaleur dû aux fuites d'air, en W/s ou J/s, pour la maison à l'étude.

0,361 représente la valeur constante combinant la densité et la capacité calorifique de l'air, à savoir la quantité de chaleur contenue dans un mètre cube (m^3) d'air.

V représente le volume d'air total, en m^3, des parties chauffées de la maison.

ΔT correspond à l'écart, en °C, entre la température intérieure et la température de calcul.

Rah correspond au nombre de renouvellements d'air par heure à travers l'enveloppe (sans l'intervention de ventilateurs), d'après les fuites d'air mesurées ou une estimation éclairée.

2.4.2 *Facteurs influant sur les fuites d'air*

Pour qu'il y ait fuite d'air, il faut qu'il y ait :

- des ouvertures dans l'enveloppe (voir l'alinéa 2.4.3) et
- un écart de pression entre les deux côtés de la paroi où se trouvent les ouvertures.

Trois facteurs contribuent à créer un écart de pression entre l'intérieur et l'extérieur, en hiver ; ce sont l'effet de cheminée, la ventilation et la charge due au vent.

Effet de cheminée - L'air intérieur est plus chaud et, par conséquent, moins dense que l'air extérieur. Il a tendance à monter, ce qui crée dans la partie inférieure de la maison une dépression propice aux infiltrations. L'air qui monte dans la partie supérieure s'échappe par les ouvertures de l'enveloppe, emportant avec lui la chaleur et l'humidité qu'il renferme (figure 2.10).

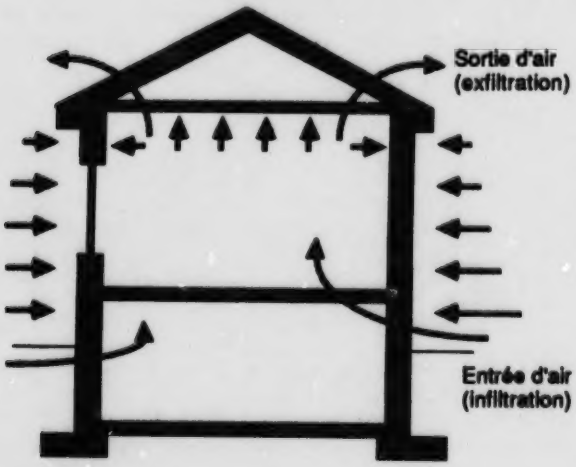


Fig. 2.10 Effet de cheminée

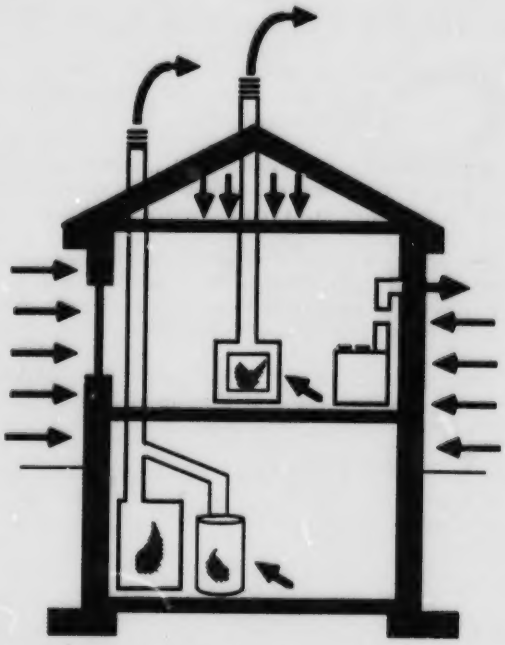


Fig. 2.11 Effet de la ventilation

Ventilation - Les appareils, comme le poêle à bois, le foyer, le système de chauffage et le chauffe-eau, ont besoin d'air pour brûler le combustible et entretenir le tirage de la cheminée. Les ventilateurs de cuisine, de salle de bains et de sécheuse peuvent aussi évacuer de grandes quantités d'air et, du même coup, passablement de chaleur et de vapeur d'eau. Ces échappements considérables auront souvent pour effet de créer dans la maison une dépression qui favorisera l'infiltration d'air à tous les niveaux (figure 2.11).

Charge due au vent - Le vent est la principale variable exerçant une influence sur les fluctuations quotidiennes des fuites d'air d'une maison. De grands vents peuvent causer une pression positive du côté extérieur où ils frappent et, de ce fait, injecter de l'air dans l'immeuble, tandis que la dépression en résultant du côté opposé de la maison favorisera les exfiltrations et les pertes de chaleur et de vapeur d'eau (figure 2.12).

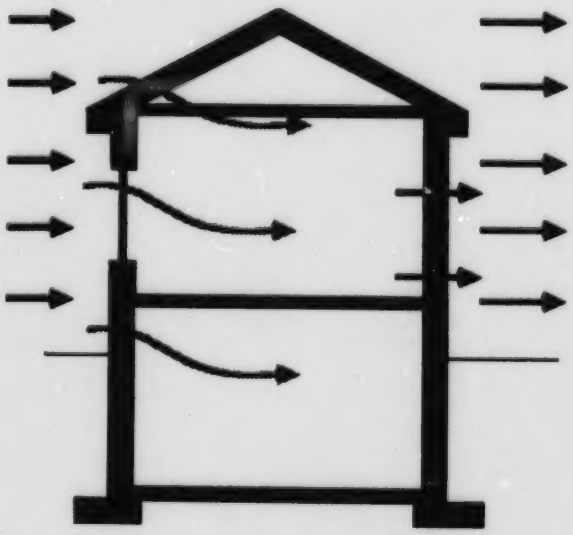


Fig. 2.12 Charge due au vent

2.4.3 *Points typiques de fuite d'air*

On a mis au point des techniques diagnostiques permettant de déterminer exactement où il y a des fuites d'air dans l'enveloppe d'un bâtiment. Comme le montre la figure 2.13, ces fuites se produisent le plus souvent aux endroits suivants :

- joint d'éléments d'ossature, c'est-à-dire bordure du plancher, haut des cloisons, jonction des murs de fondation et de la superstructure, ainsi que cloisons et murs extérieurs;
- pourtour des prises de courant aménagées dans les murs extérieurs;
- pourtour des ventilateurs aspirants de la cuisine et des salles de bains;

- pourtour des colonnes de plomberie et conduits électriques traversant les murs extérieurs ou pénétrant dans l'entretoit;
- pourtour de la cheminée, à son joint avec le mur de la maison et à son point d'entrée dans l'entretoit;
- portes, fenêtres et trappe d'entretoit;
- sous-sol par les fissures des murs de fondation, par l'avaloir de sol, par les points d'entrée de l'infrastructure de service et par les joints des éléments de charpente mentionnés ci-dessus.

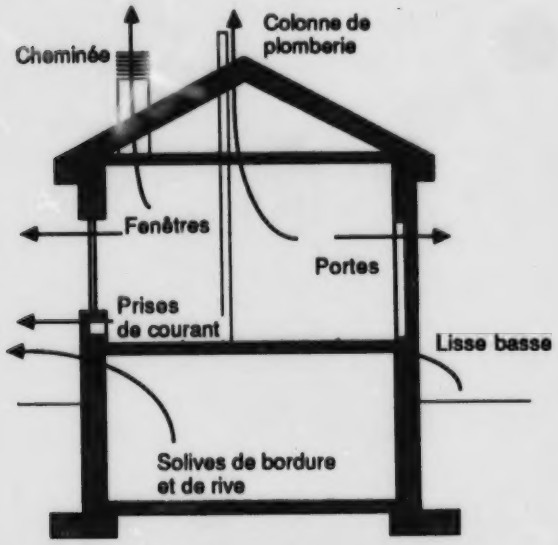


Fig. 2.13 Points typiques de fuite d'air

2.4.4 *Moyens de réduire les fuites d'air*

Étant donné la proportion assez considérable de pertes de chaleur qui sont dues aux fuites d'air et l'effet de ces dernières sur la propagation de l'humidité (dont on reparlera plus longuement en 2.5), une réfection complète suppose toujours l'étanchéisation de l'enveloppe entière, même lorsqu'on n'ajoute pas d'isolant.

On augmente l'étanchéité de l'enveloppe en posant un pare-air continu. L'étanchéisation de la maison entière suppose l'utilisation de divers matériaux et techniques, dont les suivants :

- **matériaux en feuilles ou en panneaux rigides**, qui limitent le passage de l'air et dont on se sert pour les grandes superficies, tels les murs et les plafonds;
- **pâtes de calfeutrage, rubans et garnitures**, qui servent à obturer les joints du pare-air principal et le pourtour des ouvertures qui y sont pratiquées, le pare-air principal étant aussi fixé de façon étanche au cadre des portes et des fenêtres;
- **coupe-bise**, qui assurent l'étanchéité aux joints mobiles des portes et des fenêtres, par exemple.

Le choix des matériaux et des techniques de mise en place variera :

- selon que l'étanchéisation est le seul but des travaux ou qu'elle s'intègre à des travaux de renouvellement de l'isolant thermique;
- selon qu'on ajoute ou non de l'isolant dans le cadre d'une réfection par l'intérieur ou par l'extérieur;
- selon l'âge, le type de construction et l'état de la maison et
- selon le type particulier de travaux de réfection choisis.

Les techniques de pose du pare-air propres à divers cas sont exposées aux chapitres 6 à 10. Elles se fondent toutes sur le principe élémentaire de la **continuité du pare-air.**

Dans bien des cas, un seul matériau assure à la fois un pare-air continu et un pare-vapeur. Lorsqu'on se sert d'un seul matériau pour remplir ces deux fonctions, **il faut s'assurer de le placer plus près de la face intérieure que de la face extérieure de l'ensemble.**

Toute réfection bien exécutée permet :

- de diminuer considérablement les pertes dues aux fuites d'air, en intégrant un pare-air continu aux surfaces refaites;
- d'assurer l'étanchéisation de tout autre élément de l'enveloppe qui n'est pas directement touché par les travaux de réfection complète et
- de faire en sorte que tout pare-air tenant aussi lieu de pare-vapeur est installé plus près de la face intérieure que de la face extérieure de l'enveloppe.

2.5 LA PROPAGATION DE L'HUMIDITÉ

La détérioration par l'humidité est la principale cause de l'inefficacité des matériaux de construction. C'est pourquoi protéger la structure contre l'humidité a toujours été une préoccupation majeure de l'industrie du bâtiment.

Tout projet de réfection donne l'occasion de détecter les problèmes et d'y remédier. Si l'entrepreneur comprend la façon dont l'humidité se propage, il sera en mesure de concevoir une façon de protéger à la fois les matériaux en place et ceux qui y seront ajoutés.

L'humidité dommageable peut provenir de sources externes - précipitations, nappe phréatique, accumulation de glaces, par exemple - ou être produite dans la maison par les occupants ou emmagasinée dans le bâtiment même. Au fil des années, l'industrie du bâtiment a mis au point des moyens efficaces de protéger l'enveloppe contre l'humidité de sources externes. De plus, l'évolution récente des techniques du bâtiment, plus particulièrement la tendance croissante à intégrer plus d'isolant thermique à l'enveloppe, a permis de mieux comprendre le rôle de l'humidité produite dans la maison même.

2.5.1 Humidité provenant de l'intérieur

En temps normal, les occupants de l'immeuble et l'immeuble lui-même produisent une quantité considérable de vapeur d'eau. Les matériaux de construction, comme le bois, sont plus ou moins chargés d'humidité selon l'époque de l'année : ils absorbent l'humidité au cours du printemps et de l'été, lorsqu'il y en a beaucoup à l'extérieur, et la libère au cours de l'automne et de l'hiver, lorsque l'humidité extérieure tombe. Les occupants produisent aussi une quantité appréciable d'eau par leurs activités quotidiennes - cuisine, bain, lavage de planchers et lessive -, par l'emploi d'humidificateurs et par leurs simples déplacements.

2.5.2 Dispersion de la vapeur d'eau

La vapeur est véhiculée de deux façons : par diffusion et par circulation de l'air.

Il y a diffusion lorsqu'un écart dans la pression de la vapeur d'eau présente de part et d'autre d'un matériau fait se déplacer la vapeur à travers le matériau. On appelle perméance la capacité d'un matériau de laisser passer la vapeur d'eau. Moins cette propriété est accentuée, plus le matériau fait obstacle à la diffusion. On trouvera à l'annexe A le taux de perméance des matériaux d'usage courant en construction.

On a d'abord pensé que la diffusion était le principal moyen de propagation de la vapeur d'eau dans l'enveloppe du bâtiment. Par précaution, la plupart des maisons construites après 1940 ont donc été équipées d'un pare-vapeur, c'est-à-dire d'une membrane peu perméable placée juste dessous le revêtement mural intérieur (figure 2.14). Il s'agissait souvent d'un isolant doublé de papier, quoique, ces dernières années, on a commencé à employer du polyéthylène. Comme la quantité de vapeur d'eau véhiculée par diffusion est directement proportionnelle à la superficie de la paroi se trouvant sur son trajet, on estimait le pare-vapeur adéquat s'il recouvrait la majeure partie de la paroi. On n'essayait pas d'assurer la continuité du pare-vapeur dans toute l'enveloppe.

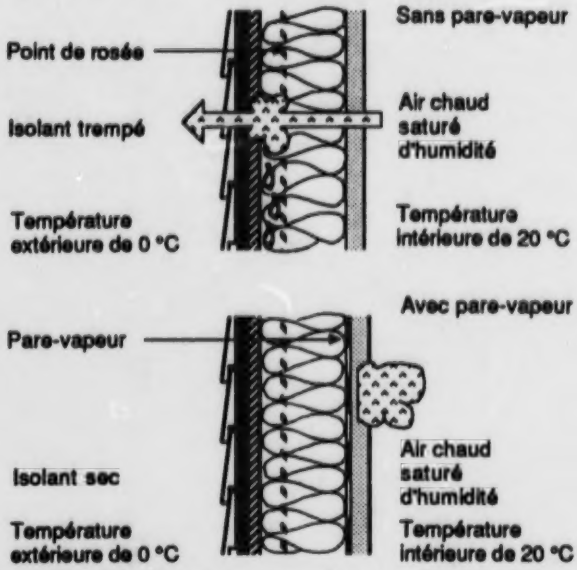


Fig. 2.14 Propagation de l'humidité à travers un mur

Ces dernières années toutefois, on a constaté que la **circulation de l'air** favorise beaucoup plus la propagation de la vapeur d'eau que la diffusion. La figure 2.15 indique la quantité relative d'eau véhiculée par diffusion et par les fuites d'air au cours d'une saison normale de chauffage. Comme on le voit, la diffusion est un phénomène lent, d'importance secondaire comparativement à celui des fuites d'air.

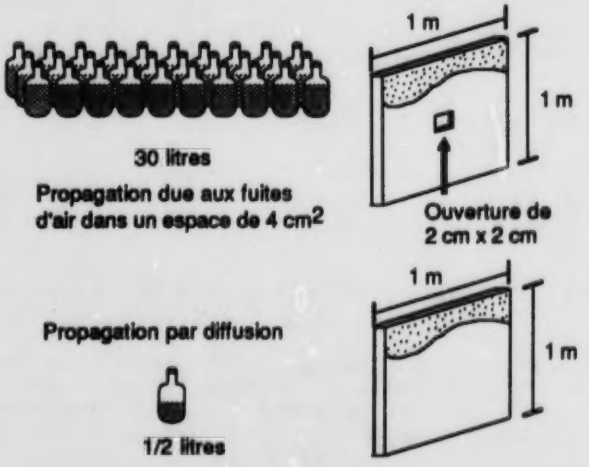


Fig. 2.15 Propagation de l'humidité au cours d'une saison de chauffage

2.5.3 Condensation

La vapeur d'eau en elle-même ne présente aucun danger pour les matériaux de construction. Toutefois, elle peut facilement être véhiculée jusqu'à des points de l'enveloppe où elle peut prendre une forme liquide et causer la pourriture, la détérioration et la corrosion des matériaux adjacents. L'air chaud peut renfermer plus de vapeur d'eau que l'air frais. Or cette dernière se condense lorsque la température de l'air tombe au "point de rosée", c'est-à-dire au point où, ne pouvant retenir toute la vapeur qu'il contient, l'air la dépose sous forme de liquide sur les surfaces adjacentes. Par froid extrême, la vapeur peut aussi se déposer sous forme de givre. Cette condensation de la vapeur, sous forme d'eau ou de givre, est facile à constater dans une pièce dont l'air chaud est refroidi au contact d'une surface froide, telle le verre d'une fenêtre.

Aussi, pour protéger la structure du bâtiment, il faut empêcher la vapeur d'eau d'atteindre une surface dont la température est inférieure au point de rosée, c'est-à-dire au point à partir duquel la vapeur se condensera sous forme de liquide ou de givre.

2.5.4 Rôle du pare-air et du pare-vapeur

Les divers concepts de réfection de la maison entière exposés dans le présent manuel supposent tous l'intégration d'un pare-vapeur et d'un pare-air continu à l'enveloppe. Bien que les matériaux utilisés à cette fin et l'emplacement exact du pare-air et du pare-vapeur puissent varier, on respectera toujours certains principes de base.

1) Le pare-vapeur doit se trouver dans la partie intérieure de l'isolant, afin d'empêcher la vapeur d'eau provenant de la maison d'atteindre le "point de rosée" et de se condenser dans le mur. Traditionnellement, on plaçait le pare-vapeur juste dessous le revêtement mural intérieur, mais il a été démontré, au cours de recherches, qu'on peut l'intégrer au mur dans la mesure où les deux tiers de la valeur RSI du mur se trouve au-delà (figure 2.16). Cette règle d'or vaut pour la plupart des régions du pays. Dans le Grand Nord cependant, mieux vaut s'assurer que les trois quarts de l'isolant se trouve au-delà du pare-vapeur. "Enfouir" le pare-vapeur dans le mur a l'avantage de permettre de garder au minimum les ouvertures pratiquées pour laisser passer les canalisations de plomberie et le câblage et de limiter les dommages accidentels causés pendant les travaux.

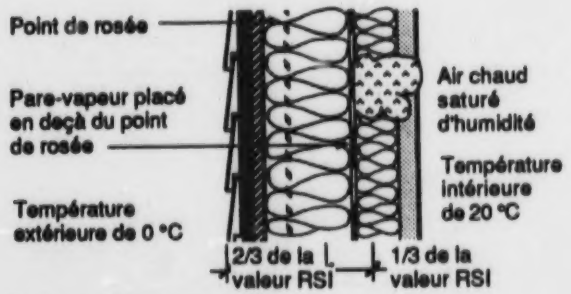


Fig. 2.16 Pare-vapeur enfoui

2) Lorsque le pare-air continu est intégré au pare-vapeur, il doit satisfaire aux exigences énoncées ci-dessus à l'égard de ce dernier. De fait, même lorsqu'on emploie des matériaux distincts pour remplir ces fonctions, le pare-air est, en règle générale, dans la partie intérieure du mur.

3) Toute vapeur d'eau pénétrant dans un mur doit pouvoir être évacuée à l'extérieur. Les matériaux de construction servant de pare-vapeur peuvent ralentir le taux de diffusion, mais ils ne l'arrêtent pas complètement. L'humidité qui traverse ou contourne le pare-vapeur doit donc pouvoir s'échapper librement. Il y a deux façons de s'assurer que c'est le cas :

   - on peut employer des revêtements muraux extérieurs plus perméables que le pare-vapeur — On recommande que la surface extérieure soit dix fois plus perméable que la surface intérieure. — et
   - on peut ne pas étancher certains joints des matériaux peu perméables.

2.5.5 Humidité provenant de l'extérieur

L'humidité extérieure pouvant altérer l'enveloppe du bâtiment provient des précipitations (pluie et neige), des ruissellements et de la nappe phréatique.

2.5.5.1 Propagation de l'humidité au-dessus du sol

La pluie et la neige peuvent pénétrer dans le mur par les ouvertures de la superstructure. Lorsque le parement extérieur est mouillé, des phénomènes moins évidents, tels les écarts de pression et la capillarité, peuvent entraîner l'humidité plus profondément dans la charpente.

Les écarts de pression entre l'intérieur et l'extérieur sont causés par le vent et par la pression de la vapeur. S'il y a des ouvertures dans le mur, ces écarts de pression peuvent amener l'infiltration de quantités appréciables d'eau à ces endroits.

Le phénomène de capillarité fait adhérer l'eau au matériau adjacent par tension superficielle. Si le matériau est assez poreux, l'eau finit par y pénétrer.

Au fil des années, l'industrie du bâtiment a mis au point divers moyens de protéger la structure contre les dommages causés par l'eau. Ceux-ci supposent l'emploi de deux couches ou plus d'un matériau protecteur pour arrêter l'eau et l'écarter de l'enveloppe.

- Le revêtement externe d'un bâtiment est constitué de trois éléments protecteurs, nommément :

  1. une couverture et un parement qui assurent une première protection
  2. un pare-intempéries imperméable, qui protège l'isolant et l'ossature de l'eau qui pourrait pénétrer dans le parement extérieur, et
  3. un ensemble de solins, gouttières et débords de toit qui écartent les ruissellements du bâtiment.

- On place entre outre un solin aux endroits où l'on a pratiqué des ouvertures dans l'enveloppe : linteau et seuil de fenêtres, par exemple, ou endroit où la cheminée traverse la toiture.

Dernièrement, on a mis au point une variante de cette technique de construction murale. Dite "écran parapluie", elle suppose qu'on laisse derrière le revêtement externe une lame d'air qui communique avec l'extérieur pour équilibrer la pression de part et d'autre du parement. Étant donné la diminution de l'écart de pression, l'eau pénètre beaucoup moins derrière le parement. Le pare-intempéries placé sous le parement doit, en plus d'être imperméable, résister à la charge du vent.

2.5.5.2 *Propagation de l'humidité au-dessous du niveau du sol*

Le déplacement de l'eau dans le sol dépend, dans une grande mesure, du type de sol entourant les fondations, du niveau de la nappe phréatique et du type de fondation.

Un mauvais régalage aux abords de la maison peut favoriser l'accumulation des ruissellements près des murs de fondation. Un remblai granulaire favorise l'écoulement de l'eau, qui peut être acheminée vers un système de drainage périphérique qui l'écartera des fondations. En revanche, un sol argileux ou pulvérulent retient beaucoup d'humidité, qui se communique aux murs de fondation adjacents.

Lorsqu'il y a beaucoup d'eau dans le sol, la pression de l'eau peut pousser celle-ci dans les fissures des murs de fondation et dans les joints des murs et de la dalle.

Lorsque le sol entourant les fondations reste humide pendant de longues périodes, le phénomène de capillarité dont on a parlé ci-dessus peut entraîner un déplacement continuel d'eau à travers les matériaux poreux employés dans la construction des murs de fondation. L'humidité qui s'est infiltrée dans les murs finit par s'évaporer à l'extérieur par le haut des murs ou à l'intérieur du sous-sol. La propagation continuelle d'humidité dans les murs de fondation peut toutefois :

- ajouter à la vapeur d'eau présente dans la maison et porter l'humidité au-delà du niveau acceptable;
- endommager le revêtement intérieur des murs du sous-sol;
- causer une efflorescence inesthétique à la partie supérieure des murs de fondation et
- causer la détérioration des murs par suite de gels et dégels successifs.

Lorsque l'eau s'infiltre dans les fondations, on recommande d'exécuter la réfection de l'extérieur. Cela permettra d'installer un nouveau système de drainage, de remplacer le sol adjacent par un remblai granulaire perméable et de régaler les abords de la maison de manière à écarter l'eau des fondations. L'application d'un hydrofuge ou d'un imperméabilisant, habituellement sous forme d'enduit bitumineux, assurera aux murs une protection supplémentaire contre la pénétration de l'eau. L'enduit protégera également l'isolant contre l'humidité emprisonnée dans le mur. Enfin, la réfection par l'extérieur permet d'utiliser un isolant rigide à couche drainante, qui achemine les ruissellements vers le système de drainage périphérique (figure 2.17).

Fig. 2.17 Bon système de drainage

On peut exécuter la réfection de l'intérieur lorsque les fondations sont sujettes à l'humidité, mais ne montrent aucun signe d'infiltration d'eau. Dans ce cas, il faut absolument appliquer un hydrofuge aux murs de fondation (figure 2.18). Ce matériau protégera l'ossature et l'isolant des effets de l'humidité que renferme le mur. La pose de l'hydrofuge se fait différemment selon le type de murs; les diverses techniques possibles sont expliquées au chapitre 6.

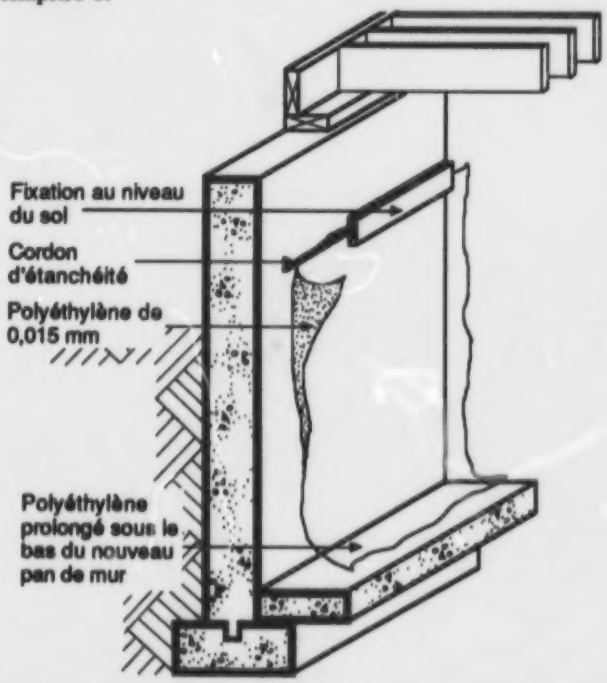


Fig. 2.18 Hydrofugeage des murs de fondation par l'intérieur

3

ÉVALUATION DE LA MAISON ET DE SON PROPRIÉTAIRE

La réussite de la réfection dépend de facteurs tels que la capacité de l'entrepreneur de bien évaluer la maison et les besoins du propriétaire. Il est impossible de dresser un programme de réfection sans tenir compte du budget du propriétaire et de ses préférences au plan esthétique. Le programme de réfection doit aussi s'adapter aux contraintes techniques de la maison.

Décider du programme qui convient le mieux à une maison et à un propriétaire exige beaucoup de compétences. L'entrepreneur doit avoir une parfaite connaissance des diverses techniques de réfection. Il peut aussi devoir faire appel à certaines notions de génie pour évaluer l'état de la maison. Le produit fini devrait en outre attester un certain talent en architecture, par un heureux mariage du vieux et du neuf. Enfin, exécuter le programme établi sans dépasser le budget fixé exigera un sens poussé de la gestion financière, voire des aptitudes de banquier.

Le présent manuel ne vise pas à donner une formation d'entrepreneur général. Les intéressés devront donc compléter par eux-mêmes leur éducation en génie, à en architecture et en gestion financière. Ils trouveront toutefois ici un exposé des divers facteurs influant sur la conception de la réfection de la maison entière.

Le présent chapitre donne un aperçu des points à considérer pour déterminer la rentabilité d'un projet. Bien que l'entrepreneur peut faire la majorité des calculs nécessaires à la main, les programmes informatiques mis au point dernièrement dans ce domaine devraient procurer suffisamment de données à quiconque veut se renseigner sur l'analyse des pertes de chaleur et les économies à tirer de la réfection. Toutefois, qu'on se serve de sa matière grise ou d'un ordinateur, les résultats des calculs ne seront valables que dans la mesure où les données utilisées sont exactes.

Les études de cas présentées en annexe aideront l'entrepreneur à cerner les frais et les économies pouvant résulter d'une réfection complète. Ces exemples donnent une idée du vaste assortiment de techniques utilisables pour faire d'importantes économies d'énergie. Ils montrent également combien il est difficile de faire la part entre les frais liés aux mesures d'économies d'énergie et ceux qui ont trait à la rénovation proprement dite, surtout lorsque celle-ci suppose de gros travaux.

L'entrepreneur trouvera ci-après des conseils élémentaires sur la façon de commercialiser ses nouvelles compétences dans le domaine de la réfection favorisant un bon rendement énergétique. Rien ne sert d'avoir du talent, si on ne peut l'exercer.

3.1 ÉVALUATION DES BESOINS DU PROPRIÉTAIRE

C'est le propriétaire qui paie. Alors, peu importe que l'entrepreneur croie aux avantages d'une réfection poussée ou qu'il puisse en justifier les frais par des considérations financières ou structurales. Si le propriétaire n'est pas prêt à faire faire les travaux de réfection, l'entrepreneur fait sans doute fausse piste.

Le rôle de l'entrepreneur consiste à interpréter les besoins et les souhaits exprimés par le propriétaire, en tenant compte du budget de ce dernier et de l'état de la maison. Il doit montrer au propriétaire comment intégrer avantageusement la réfection à ses projets de rénovation.

3.1.1 *Le processus de rénovation*

Le propriétaire communique habituellement avec l'entrepreneur pour obtenir des suggestions ou un devis concernant un travail précis. Il est rare qu'il cherche seulement à diminuer sa consommation de combustible. Lorsqu'il fait appel à l'entrepreneur, c'est habituellement pour faire :

- faire des réparations pressantes : stopper des fuites au sous-sol ou redresser une partie de la charpente qui a bougé, par exemple;
- exécuter des modifications qui amélioreront l'apparence de la maison ou en augmenteront le rendement : refaire les parements, repeindre, etc.;
- effectuer des rénovations en vue de mieux adapter l'habitation aux besoins de ses occupants : rendre le sous-sol ou l'entretoit habitable par exemple, modifier l'aménagement de la maison, agrandir ou encore faire des travaux de modernisation.

L'entrepreneur doit pouvoir évaluer les besoins du propriétaire et déterminer quels travaux de rénovation donneront aussi l'occasion d'améliorer le rendement énergétique. Les tableaux ci-après indiquent les principaux travaux de rénovation auxquels on pourrait greffer des mesures favorisant l'économie d'énergie. L'entrepreneur devrait pouvoir expliquer au propriétaire ce qu'entraînerait l'addition de mesures de réfection aux travaux de rénovation prévus. Il devrait, par exemple, l'avertir que cela peut accroître la durée des travaux, augmenter les frais, mais aussi les économies, et rendre la maison plus confortable, mais peut-être aussi un peu plus petite.

3.1.2 *Travaux de réparation et réfection compatibles*

Il arrive souvent que des problèmes structuraux, mécaniques et autres obligent à effectuer de gros travaux de rénovation. Le tableau ci-dessous donne une idée des travaux de réfection qui peuvent être intégrés à des réparations de la structure.

Travaux de rénovation	Travaux de réfection compatibles	Suites possibles
Imperméabilisation d'un sous-sol où il y a des fuites et installation d'un nouveau drain.	Installation d'isolant extérieur jusqu'au niveau du sol ou plus haut.	Hausse des frais d'isolation thermique. Réchauffement du sous-sol. Baisse de jusqu'à 15% de la facture de combustible.
Réparation majeure de la toiture.	Augmentation de l'isolement thermique du toit, en reconstruisant celui-ci ou ajoutant une nouvelle toiture.	Hausse des frais de construction et d'isolation. Baisse de jusqu'à 10% de la consommation de combustible. Diminution du givre sur le toit.
Enlèvement de l'urée-formaldéhyde en place dans les murs.	Amélioration de l'isolement thermique et du pare-air-vapeur des murs par l'addition: a) d'isolant et d'une membrane d'étanchéité dans les pans de mur et, possiblement, d'un fond de clouage ou b) d'isolant rigide et d'un fond de clouage par-dessus le plâtre	Hausse des frais de construction et d'isolation. Baisse de la consommation de combustible. Meilleure protection des murs contre l'humidité.
Amélioration majeure de l'équipment mécanique de la maison.	Installation de matériel à meilleur rendement énergétique. Amélioration de la distribution d'air. Équilibrage du système de chauffage.	Air plus salubre. Baisse de la consommation de combustible. Confort accru.

3.1.3 *Travaux d'embellissement et de réfection compatibles*

Il arrive qu'on fasse des travaux de rénovation pour modifier ou améliorer l'apparence d'une habitation. Le tableau ci-dessous donne une idée des travaux de réfection qui peuvent être intégrés à ce genre de rénovation.

Travaux de rénovation	Travaux de réfection compatibles	Suites possibles
Remplacement du bardage.	Pose d'un nouveau pare-air. Isolation des murs par l'extérieur. Déplacement de fenêtres pour maximiser les gains d'énergie solaire.	Maison plus chaude et plus étanche. Nécessité éventuelle d'une ventilation centrale. Baisse des frais de combustible. Hausse du niveau d'humidité.
Rénovation intérieure.	Réfection de l'isolement des murs par l'intérieur. Augmentation de l'isolement et de l'étanchéité des plafonds.	Maison plus chaude et plus étanche. Nécessité éventuelle d'une ventilation centrale. Baisse des frais de combustible. Hausse du niveau d'humidité.
Modification ou remplacement des fenêtres.	Étanchéisation. Augmentation du rendement des fenêtres.	Diminution du risque de givrage. Diminution des courants d'air.

3.1.4 *Travaux d'agrandissement et de réfection compatibles*

Il arrive aussi qu'on fasse des travaux de rénovation pour agrandir l'aire habitable. Le tableau ci-dessous donne une idée des travaux de réfection qui peuvent être intégrés à ce genre de rénovation.

Travaux de rénovation	Travaux de réfection compatibles	Suites possibles
Aménagement du sous-sol.	Augmentation de l'isolement du sous-sol.	Baisse des frais de chauffage. Confort accru. Hausse des frais de construction et d'isolation. Meilleure protection contre l'humidité.
Aménagement de l'entretoit.	Amélioration de l'isolement et du pare-air-vapeur du plafond ou, si on surélève le toit ou y ajoute des lucarnes, possibilité de réfection par l'extérieur.	Baisse des frais de chauffage. Confort accru. Hausse des frais de construction et d'isolation. Meilleure protection contre l'humidité.
"Évidement" de la structure.	Amélioration de l'isolement et du pare-air-vapeur des murs et des plafonds. Amélioration de l'équipement mécanique.	Baisse des frais de chauffage. Confort accru. Hausse des frais de construction et d'isolation. Meilleure protection contre l'humidité.

3.2 ÉVALUATION DE LA MAISON

Tout entrepreneur sait par expérience qu'il n'existe pas deux maisons identiques. Même quand deux maisons se ressemblent par leur apparence extérieure, leur revêtement et même leur aménagement intérieur, ce qui se passe à l'intérieur de leurs murs peut être très différent. Avant d'arrêter son choix sur une méthode de réfection particulière, l'entrepreneur doit donc faire une évaluation détaillée de la maison. Cette évaluation doit, à tout le moins, prendre en considération :

- le type et l'état des fondations;
- le type et l'état de l'ossature murale;
- le type et l'état du toit;
- tout défaut structural ou problème lié à l'humidité;
- les caractéristiques architecturales exigeant un soin particulier;
- l'isolement thermique actuel de toutes les parties de la maison;
- l'étanchéité de l'enveloppe actuelle;
- les codes, arrêtés et règlements qui risquent d'influer sur la réfection; ainsi que
- le système de chauffage et de distribution de chaleur.

Lorsqu'il s'est fait une idée exacte de l'état de la maison, l'entrepreneur peut dresser le programme de réfection qui convient. Il est alors à même de déterminer quels travaux sont justifiables et quels problèmes pourraient survenir.

Au cours de son inspection, l'entrepreneur trouvera utile d'analyser chaque élément en fonction des critères suivants :

Rendement énergétique - Il faut déterminer l'isolement thermique et l'étanchéité de chaque ensemble. Cela aidera à évaluer chaque élément du bâtiment et à estimer les économies d'énergie qu'on peut faire.

L'entrepreneur chevronné aura sans doute une assez bonne idée de ce qui se passe dans les murs, mais il peut néanmoins devoir faire une évaluation plus approfondie. Il y a différents moyens de déterminer le type, l'épaisseur et l'état de l'isolant en place. Ainsi, on peut :

- enlever la plaque recouvrant une prise de courant et sonder le mur derrière le boîtier, **après avoir coupé le courant;**
- percer un trou dans le revêtement mural dans un endroit dérobé (à l'intérieur d'une armoire ou d'un garde-robe, par exemple) ou dans un endroit où l'on effectuera des travaux de rénovation; ou encore
- enlever une section du bardage extérieur pour évaluer l'isolant mural de l'extérieur.

L'entrepreneur doit vérifier en particulier :

- le type, l'épaisseur, l'état et donc la résistance thermique de l'isolant;
- le tassement ou l'humidité du matériau et
- la possibilité technique d'ajouter de l'isolant dans l'espace existant.

Dans certains cas, on peut faire une analyse thermique de la maison pour déterminer l'emplacement et l'état de l'isolant. Cette analyse, faite à l'aide d'un film infrarouge, permettra également de repérer les sources de fuites d'air. L'essai de dépressurisation est un autre instrument utile au dépistage des fuites d'air.

Résistance à l'humidité - Il faut évaluer le comportement de chaque élément du bâtiment qui est soumis aux effets de l'humidité provenant de l'intérieur ou de l'extérieur.

L'entrepreneur pourra repérer la majorité des problèmes dus à l'humidité au cours d'une inspection visuelle. À l'intérieur, il devra surveiller les indices suivants :

- détérioration des seuils de fenêtre par la condensation;
- taches d'eau sur les murs ou les plafonds (Ces taches sont le signe d'infiltration d'humidité extérieure ou de condensation.);
- écaillage de la peinture ou effritement de la maçonnerie dénotant un hydrofugeage insuffisant;
- odeur de moisi au sous-sol, signe qu'il faut hydrofuger ou imperméabiliser les fondations; et
- flaques d'eau stagnante ou cernes laissés sur la dalle du sous-sol, lesquels indiquent la présence de fuites.

À l'extérieur, il prendra note des signes suivants :

- détérioration des seuils de porte et de fenêtre par l'accumulation d'eau;
- effritement ou efflorescence de la maçonnerie au haut des murs de fondation, signe d'une montée d'humidité;
- gonflement de la peinture ou du stucco dénotant la présence d'humidité dans le mur et
- taches d'eau indiquant que les solins ne remplissent pas leur fonction.

Solidité de la structure - Il faut repérer tout défaut et toute faiblesse de l'ossature avant d'entreprendre de nouveaux travaux. L'entrepreneur doit considérer l'effet de la réfection sur l'ossature de la maison, c'est-à-dire notamment évaluer :

- la capacité des murs existants de supporter de nouvelles charges, en déterminant où et comment les éléments ajoutés au cours de la réfection prendront appui, et
- l'état des fondations, en déterminant les causes et les effets possibles de fissures, de déplacements de la structure, etc.

Caractéristiques architecturales - Il faudrait repérer, noter et photographier les caractéristiques architecturales à préserver ou à restaurer, car elles peuvent influer sur le choix du programme de réfection. L'entrepreneur prendra note de l'état de tous les éléments de la maison.

Accessibilité - Il importe de déterminer l'accessibilité de chaque élément, de l'intérieur et de l'extérieur. Un manque d'espace ou la difficulté de contourner certains obstacles peut influer sur le choix de la méthode de réfection.

3.2.1 Évaluation des fondations

Les fondations jouent un rôle très important lorsqu'on entreprend une réfection complète. On peut devoir consolider, isoler ou hydrofuger les murs de fondation. L'entrepreneur devra noter tous ces points et les prendre en considération.

Rendement énergétique - Dans la plupart des maisons de construction plus ancienne, il n'y a aucun isolant au sous-sol, car ce n'est que vers le milieu des années 70 que la pratique de l'isolation thermique des fondations s'est répandue. Par ailleurs, l'isolation des fondations depuis les solives du plancher de rez-de-chaussée jusqu'à 600 mm sous terre est une exigence qui a été ajoutée assez récemment à la plupart des codes du bâtiment.

L'entrepreneur doit d'abord vérifier l'étanchéité des murs de fondation, s'il veut pouvoir déterminer les avantages de la réfection du sous-sol. Il doit donc examiner les endroits où il y a habituellement des fuites d'air :

- joint de la lisse basse et des fondations;
- fissures de la maçonnerie des fondations;
- ouvertures pratiquées dans les murs de fondation;
- fenêtres et portes extérieures.

Résistance à l'humidité - L'inspection des fondations fera ressortir deux genres de problèmes d'humidité.

L'accumulation d'eau, pénétrant par des fissures des murs et de la dalle et les inondations saisonnières comptent parmi les problèmes majeurs. Il peut fort bien ne pas y avoir d'eau au sous-sol au moment de l'inspection, mais certains signes - telles les taches d'humidité sur les murs et sur la dalle, une humidité relative anormalement élevée et la moisissure des lisses - seront révélateurs pour l'entrepreneur averti.

Les problèmes d'importance secondaire sont signalés par l'effritement de la maçonnerie à l'intérieur, un dépôt efflorescent à la surface intérieure ou extérieure des murs et une humidité relative élevée au sous-sol. En présence de tels indices, il serait sage de sonder les murs de maçonnerie pour voir s'ils se sont détériorés.

Solidité de la structure - On vérifie automatiquement l'intégrité structurale des fondations lorsqu'on en examine le rendement énergétique et la résistance à l'humidité. Toutefois, en plus de repérer les fissures et les défauts de la maçonnerie, il serait bon de voir, par un sondage rapide des solives du plancher de rez-de-chaussée, si la structure a été affaiblie par l'humidité ou par l'action d'insectes (termites, fourmis charpentières, etc.).

Caractéristiques architecturales - En général, on ne fera pas la réfection par l'intérieur lorsque le sous-sol est déjà aménagé. Il faudra alors déterminer l'incidence d'éléments extérieurs, comme la régularité des parois et l'agencement du revêtement des murs de fondation avec celui du reste de la maison, sur la méthode de réfection.

Accessibilité - L'entrepreneur doit évaluer les contraintes et les frais assortis au déplacement ou au contournement des éléments suivants :

À l'intérieur

- prises de courant, câblage et tableau de distribution;
- canalisations de plomberie, éviers, robinets, appareils de buanderie, chauffe-eau, etc.;
- système de chauffage, à savoir calorifère ou chaudière et réseau de distribution;
- rangements, ateliers, armoires, escaliers, etc.;
- cloisons.

À l'extérieur

- proximité des bâtiments voisins, ce qui pourrait gêner l'emploi de matériel excavateur;
- aménagement paysager, notamment présence de rosiers, d'arbustes et d'arbres auxquels le propriétaire tient;
- amenée de combustible — compteur de gaz, canalisation d'alimentation du réservoir de mazout;
- descentes pluviales;
- perrons et terrasses de béton, escaliers, trottoirs, allées pavées, etc.

3.2.2 Évaluation des murs de la superstructure

Les travaux touchant les murs de la superstructure (qu'ils soient effectués par l'intérieur ou par l'extérieur) ont beaucoup d'effet sur l'apparence du bâtiment. La réfection complète entraîne un épaississement des murs et change l'apparence de l'immeuble. Elle peut supposer la pose d'un nouveau parement, la modification ou le déplacement des fenêtres, l'amélioration du revêtement intérieur et le rétrécissement de l'aire habitable.

Le propriétaire peut tenir beaucoup à certaines caractéristiques et vouloir à tout prix en éliminer d'autres. Au moment de faire l'évaluation des murs, l'entrepreneur doit donc s'assurer qu'il est techniquement, esthétiquement et financièrement possible d'exécuter la réfection selon les préférences du propriétaire.

Rendement énergétique - L'entrepreneur doit s'efforcer d'examiner l'intérieur des murs pour déterminer :

- la quantité et le type de l'isolant en place,
- l'état de l'isolant et des éléments d'ossature et
- la possibilité de circulation d'air dans les murs.

Il doit également voir s'il y a des fuites d'air dans les murs. Ces fuites se produisent en général aux endroits suivants:

- périphérie du plancher - derrière les plinthes, sous le sous-plancher et entre les lisses;
- pourtour des fenêtres - entre le chambranle et l'ouverture brute;
- pourtour des prises de courant et des interrupteurs et
- ouvertures pratiquées dans l'enveloppe - sorties de ventilateurs aspirants, cheminée du foyer, infrastructure, etc.

Enfin, l'entrepreneur doit savoir comment les murs supportent l'humidité. La présence d'un pare-vapeur et l'état des solins extérieurs influenceront sa décision.

Solidité de la structure - L'entrepreneur doit voir si les murs existants peuvent supporter les nouvelles charges résultant de la réfection. Lorsque les matériaux employés au cours d'une réfection par l'extérieur sont fixés directement aux murs, il devra peser les facteurs suivants :

- type de construction (bois massif, maçonnerie ou ossature de bois);
- type de charpente (à plate-forme, à claire-voie ou en madriers);
- espacement entre les poteaux et
- type de revêtement intermédiaire.

Chacun des facteurs mentionnés peut influer sur le choix du programme de réfection proposé.

La majorité des travaux de réfection par l'intérieur n'ajoutent pas vraiment à la charge constante des éléments porteurs de la structure de la maison. Aussi, le seul point à surveiller au moment d'entreprendre une réfection par l'intérieur consiste à corriger les défauts de la structure avant d'entreprendre les travaux de réfection.

Caractéristiques architecturales - Dans la plupart des cas, la réfection par l'extérieur vise à améliorer une façade qui se détériore. Lorsqu'il faut remplacer ou déplacer des moulures décoratives, l'entrepreneur doit évaluer le travail en cause.

Le point le plus important de la réfection par l'extérieur concerne le joint du mur, après sa réfection, et de la sous-face ou des chevrons. Le concept même de la réfection par l'extérieur peut être influencé par le débord de toit formé par la base des chevrons. Idéalement, celui-ci est assez large pour permettre l'installation d'un nouveau pan de mur extérieur sans que cela ne gêne la ventilation au niveau de la sous-face. Au pis-aller, l'entrepreneur devra prolonger les chevrons, le revêtement et la couverture. L'inspection du débord de toit et la définition des travaux nécessaires pour modifier le toit sont deux points importants de l'établissement du programme de réfection.

La principale difficulté de la réfection exécutée par l'intérieur tient au rétrécissement de l'aire habitable du fait de l'épaississement des murs. L'entrepreneur et le propriétaire devront évaluer le dimensionnement et l'utilité de pièces et du hall d'entrée dont les murs peuvent être rapprochés de jusqu'à 200 mm.

Accessibilité - L'entrepreneur doit déterminer les difficultés que peut poser l'exécution de la réfection. Idéalement, il installerait l'isolant et le pare-air de façon à former une enveloppe parfaitement continue. Toutefois, il est rare qu'il puisse le faire. Il doit donc voir dans quelle mesure les éléments suivants influeront sur le concept et l'exécution de la réfection.

À l'intérieur
- Les cloisons, les escaliers, les armoires et le plancher feront obstacle à la continuité de l'isolant et du pare-air.
- Les canalisations de plomberie longeant les murs extérieurs devront être déplacées lorsqu'on envisage d'ajouter de l'isolant par l'intérieur.

À l'extérieur
- Il faut vérifier et prendre en considération les contraintes imposées par la limite du terrain, la marge de recul et le dégagement des murs latéraux.
- On peut devoir déplacer le mât de branchement électrique, les descentes pluviales, etc.
- La proximité de bâtiments voisins peut limiter l'accès à certains endroits,
- Les bâtiments à plusieurs étages peuvent présenter des problèmes d'accessibilité.

3.2.3 *Évaluation du toit, de l'entretoit et des plafonds*

L'inspection et l'évaluation de l'état du toit, de l'entretoit et des plafonds permettra à l'entrepreneur de déterminer les travaux de réparation nécessaires et les effets possibles d'un meilleur rendement thermique. Les modifications ou rénovations prévues peuvent constituer le facteur décisif au moment d'établir le programme de réfection.

Il est facile d'évaluer l'entretoit lorsqu'on peut y avoir accès par une trappe. L'évaluation d'un toit plat ou d'un plafond cathédrale n'est pas aussi aisée. La meilleure façon de procéder dans ce cas consiste à enlever une partie des matériaux de la sous-face.

Rendement énergétique - Dans la plupart des maisons, il y a de l'isolant dans l'entretoit ou entre les solives du toit, quoique, dans les maisons de construction plus ancienne, le matériau isolant employé peut varier de la laine minérale à la sciure de bois. L'entrepreneur devrait donc s'efforcer de déterminer :

- le type, la quantité et la valeur RSI de l'isolant en place,
- la présence d'un pare-vapeur,
- l'état de l'isolant et des éléments d'ossature et
- la présence d'un pare-intempéries au niveau de la sous-face.

L'infiltration, dans les cavités de la toiture, d'air provenant de l'intérieur de la maison peut causer des pertes de chaleur excessives et l'accumulation d'humidité. Les principaux points de fuite vers l'entretoit sont, entre autres :

- les boîtiers électriques des plafonds, les plafonniers encastrés et les fils traversant la sablière des murs,
- l'endroit où la colonne de plomberie pénètre dans l'entretoit,
- les fissures des cloisons intérieures au niveau de la sablière,
- la trappe donnant accès à l'entretoit et
- le joint de la cheminée du foyer ou du système de chauffage et du plafond.

Il faut repérer les fuites et les obturer avant de refaire l'isolement.

Résistance à l'humidité - La première façon de protéger l'entretoit contre l'humidité consiste à en assurer l'étanchéité. La ventilation permettra par ailleurs d'évacuer la vapeur d'eau qui y pénètre. Il faudrait vérifier si l'isolant est humide et poussiéreux aux environs des principaux points d'infiltration.

Lorsque l'entretoit est accessible, l'entrepreneur devrait vérifier s'il y a circulation d'air. Dans ce cas, la circulation se fait habituellement de la sous-face à l'aérateur de faîte. On peut, dans une certaine mesure, vérifier la ventilation des toits plats et des plafonds cathédrale en mettant à nu les cavités du débord de toit.

Enfin, l'entrepreneur doit prendre note de toutes les faiblesses de la toiture. Il pourra souvent dépister les fuites de la toiture aux taches du revêtement intermédiaire. Il devrait informer le propriétaire de toute réparation nécessaire.

Solidité de la structure - Quand l'entrepreneur envisage de mettre de l'isolant par-dessus la toiture existante, il doit d'abord s'assurer que le toit pourra supporter la charge supplémentaire. Il lui faut donc vérifier la portée des chevrons, leurs dimensions et le type de bois de construction employé pour s'assurer que les membrures peuvent supporter les nouvelles charges.

3.2.4 *Évaluation de l'équipement mécanique de la maison*

Toute rénovation ou réfection majeure permettra et, de fait, exigera souvent qu'on améliore l'équipement mécanique pour que celui-ci réponde aux nouveaux besoins de la maison. Au moment d'inspecter la maison, l'entrepreneur doit prendre note des considérations énumérées ci-dessous et voir dans quelle mesure elles se reflèteront sur les travaux de rénovation et de réfection proposés.

Électricité
- Intensité du courant amené au tableau de distribution et nombre de circuits disponibles
- Âge et état du câblage électrique
- Emplacement du câble d'alimentation et du tableau de distribution

Plomberie
- Âge et état des canalisations de distribution d'eau
- Âge et état du système de drainage

Ventilation
- Emplacement de tous les ventilateurs de cuisine et de salle de bains et travaux nécessaires pour centraliser les conduites au sous-sol
- Emplacement possible d'un système de ventilation contrôlée
- Possibilité d'intégration d'un système de ventilation centrale au réseau de distribution du système de chauffage
- Possibilité de rendre la maison plus étanche

Chauffage
- Capacité du système de chauffage, notamment capacité du brûleur dans le cas d'un système au mazout ou au gaz et puissance totale dans le cas d'un système de chauffage électrique
- Moyen de distribution : air pulsé ou eau
- Fuites du système de distribution (Les raccords des conduites sont-ils couverts de ruban isolants?) et pertes de chaleur (Les canalisations d'eau chaude sont-elles isolées?)
- Mode d'alimentation en air comburant
- Indices d'inversion du tirage du système de chauffage et du chauffe-eau (S'il y a inversion du tirage, il y a aura de la suie autour du brûleur et du registre barométrique.)
- Emplacement et type de thermostat utilisé

Bien que la plupart des modifications majeures apportées à l'équipement mécanique de la maison seront exécutées par des gens de métier, il importe que l'entrepreneur ait une idée des travaux nécessaires.

3.3 *ÉVALUATION DE LA RENTABILITÉ DES TRAVAUX ENVISAGÉS*

Pour déterminer la rentabilité de travaux de réfection précis, il faut avoir une très bonne connaissance des procédés d'établissement du prix de revient, savoir manipuler les équations de calcul des pertes de chaleur et connaître les conditions climatiques régionales, les tendances du prix du combustible, les fluctuations du taux d'intérêt et la valeur que le propriétaire accorde à son confort et à sa sécurité. L'entrepreneur compétent pourra calculer ses frais d'exécution et parviendra peut-être à estimer les pertes de chaleur.

L'entrepreneur doit par ailleurs être conscient des objectifs de sa clientèle. Pour beaucoup de gens, l'analyse de rentabilité ne signifie pas grand-chose. Ainsi, pour le propriétaire qui a décidé de passer le reste de ses jours dans sa maison, la valeur marchande et la période de récupération sont beaucoup moins importantes que son confort et sa sécurité. Comme quiconque travaille dans l'industrie du bâtiment le sait, les décisions du propriétaire ne sont pas toujours fondées strictement sur des considérations financières.

3.4 ESTIMATION DES ÉCONOMIES ÉNERGÉTIQUES ET PÉCUNIAIRES POSSIBLES

On a expliqué au chapitre 2 comment calculer les pertes de chaleur et déterminer le taux de pertes de chaleur de la maison. Ce taux, qui s'exprime en watts (W), correspond à la somme des pertes de chaleur par conduction et par fuite d'air par seconde pour un écart de température donné. Or, pour rendre cette valeur plus significative, il faut établir la corrélation entre les pertes de chaleur ponctuelles et les pertes de chaleur accumulées au cours d'une semaine, d'un mois ou même de toute la saison froide. Pour ce faire, il faut choisir une période et connaître l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur au cours de cette période. Comme on l'a indiqué au chapitre 2, le moyen le plus simple d'analyser ces facteurs consiste à utiliser les valeurs locales, en degrés-jours, indiquées dans les codes du bâtiment. Ayant ces renseignements en main, l'entrepreneur peut alors fixer une période précise et déterminer le nombre de watts nécessaires à la maison au cours de cette période.

3.4.1 *Calcul manuel des pertes de chaleur*

Utilisant le procédé expliqué au chapitre 2, on peut déterminer les pertes de chaleur par conduction et par fuite d'air. La somme des pertes par conduction et par convection correspond au taux de transfert de chaleur en watts ou en joules par seconde (W/s ou J/s). Lorsqu'on veut calculer les pertes de chaleur d'un immeuble pendant toute la saison froide, on a besoin de deux données. Il faut d'abord convertir les pertes exprimées en J/s en J/j, en les multipliant par le nombre de secondes en une heure (3 600), puis par 24 heures. On consulte ensuite le code du bâtiment pour déterminer les degrés-jours indiqués pour la localité, au cours de la saison de chauffage. Enfin, on peut, à l'aide de l'équation ci-dessous, calculer les pertes totales au cours de la saison de chauffage :

$$Q \text{ an} = (U \times S \text{ de l'enveloppe de la maison} + \text{taux de pertes de chaleur dues au renouvellement d'air}) \times 3\,600 \times 24 \times \text{degrés-jours}$$

lorsque :

Q an s'exprime en joules/an (J/an);
U x S s'exprime en joules par seconde par °C (J/s/°C);
les pertes dues au renouvellement d'air s'expriment en joules par seconde par degré Celsius (J/s/°C);
3 600 x 24 correspond au nombre de secondes dans une journée et
les degrés-jours s'expriment en °C-jour/an.

Pour avoir une meilleure idée des transferts d'énergie qui s'effectuent dans la maison, l'entrepreneur doit pouvoir analyser non seulement les pertes, mais aussi les divers apports de chaleur. S'il ne tient pas compte des gains résultant de l'action du soleil ni des gains thermiques internes, ses calculs des pertes de chaleur ne rendront pas vraiment compte de la situation. Le calcul des effets de l'apport solaire, qui peut être long et compliqué, est grandement facilité par l'analyse informatique.

L'entrepreneur doit ensuite attribuer une valeur pécuniaire aux pertes de chaleur calculées. Pour cela, il doit connaître le combustible employé par le propriétaire, son coût et le rendement de la combustion. Ces facteurs varient considérablement selon la région. L'entrepreneur devra donc se reporter aux dernières factures d'électricité ou de combustible du propriétaire pour établir le prix courant dans la région. Il doit aussi pouvoir évaluer le rendement de la combustion ou le faire vérifier par un technicien en chauffage.

3.4.2 *Calcul informatisé des pertes de chaleur*

Pour déterminer les économies à tirer d'une réfection complète, l'entrepreneur doit exécuter deux calculs des pertes de chaleur : l'un qui concernera la maison dans son état actuel et l'autre qui s'appliquera à la maison après la réfection. Ces calculs sont fort longs et il est facile de se tromper. Par conséquent, mieux vaut tirer parti des programmes informatiques qui existent aujourd'hui. Le plus accessible est le programme HOTCAN, qui est maintenant très répandu grâce à Énergie, Mines et Ressources Canada (ÉMR) et à l'Association canadienne des constructeurs d'habitations (ACCH). L'entrepreneur doit, bien entendu, faire des relevés exacts dans les diverses parties de la maison et pouvoir indiquer les valeurs RSI actuelles et prévues des différents éléments de l'enveloppe, pour que les résultats soient valables.

Une fois les résultats de ce calcul informatique obtenus, il faut examiner avec soin les pertes de chaleur estimatives avant et après réfection. Ces données indiqueront en effet les pertes subies au niveau des éléments et comporteront possiblement une indication du coût effectif des divers combustibles vendus dans la région. L'entrepreneur doit alors comparer les chiffres établis, pour la maison dans son état actuel, aux données de consommation de combustible gardées par le propriétaire. Lorsque les calculs correspondent assez bien à la consommation indiquée par les factures du propriétaire, il est assuré que la baisse de consommation calculée sera, elle aussi, assez exacte.

3.4.3 *Calcul des économies pécuniaires*

En comparant les données de consommation de combustible avant et après la réfection, l'entrepreneur peut se faire une idée du montant que la réfection permettra d'économiser. Ce chiffre peut être calculé à la main ou par ordinateur, mais il faut toujours le tenir pour une simple estimation des économies possibles. L'entrepreneur doit être conscient des facteurs pouvant occasionner un écart entre les économies prévues et réalisées. Les pertes de chaleur et la consommation de combustible réelles peuvent différer considérablement des données calculées pour différentes raisons, notamment :

- un changement dans la marche de la maison, par suite d'une augmentation ou diminution du nombre d'occupants;
- une modification du régime de fonctionnement de l'équipement mécanique par le relèvement ou l'abaissement du thermostat, par exemple;
- une tendance des occupants à ouvrir les fenêtres ou faire se renouveler l'air plus que prévu;
- les fluctuations du prix du combustible;

- les fluctuations du climat d'un hiver au suivant et
- une mauvaise exécution de l'isolation thermique et de l'étanchéisation.

L'entrepreneur doit être conscient des problèmes auxquels il s'expose s'il amène le propriétaire à surestimer les économies d'énergie possibles. Les résultats seront différents dans chaque maison, mais il apprendra avec le temps à mieux jauger les économies d'énergie à attendre de divers travaux de réfection.

L'entrepreneur et le propriétaire auront à choisir parmi diverses façons d'établir la rentabilité des travaux de réfection proposés. Le concept le plus simple pour le propriétaire est celui de la période de récupération simple, c'est-à-dire du temps qu'il faut pour réaliser des économies d'énergie égales au montant des immobilisations. Par exemple, lorsque le propriétaire engage 10 000 $ dans l'exécution des travaux et qu'on estime l'économie de combustible à 1 000 $ par année, la période de récupération simple est de 10 ans. Toutefois, si ce concept est très facile à comprendre, il ne permet pas de tenir compte de facteurs qui ont aussi leur importance : coût projeté du combustible, fluctuations du service de la dette lorsqu'on emprunte pour faire exécuter les travaux, variations de la valeur immobilière et rendement du capital investi, par exemple. Une bonne évaluation des placements en réfection suppose des calculs plus élaborés, qui sont aussi sujets aux erreurs de prévision du taux d'intérêt, du prix du combustible et d'autres considérations pertinentes.

3.4.4 *Avantages moins tangibles*

Beaucoup de propriétaires et d'entrepreneurs s'arrêteront surtout aux sommes que la réfection permettra d'économiser. On constate toutefois, dans la pratique, que le propriétaire moyen peut s'intéresser tout autant aux avantages intangibles de la réfection. Ces avantages, qu'on examine rarement d'un point de vue pécuniaire, fournissent plusieurs des arguments les plus convaincants:

- meilleur contrôle de l'humidité relative intérieure,
- diminution des courants d'air et de la poussière dans la maison,
- uniformisation de la température des pièces et
- création d'un intérieur plus paisible.

ÉVALUATION DES OPTIONS : EXTÉRIEUR c. INTÉRIEUR

Pour bien des propriétaires, une réfection complète se résume à isoler l'entretoit et poser du coupe-bise. À vrai dire, la réfection de la maison entière va bien au-delà de cela; elle modifie le rendement, l'apparence et même les dimensions de la maison. Chaque maison oblige à aborder la réfection différemment, mais la plupart des programmes de réfection complète ont des caractéristiques en commun.

La réfection de la maison entière peut se faire à partir de l'extérieur (et consister à recouvrir les murs et le toit existants) ou à partir de l'intérieur (et supposer la mise en place d'un revêtement isolé). Le choix du programme à exécuter dépendra de la maison elle-même, du propriétaire et, inévitablement, du coût afférent. Dans bien des cas, la meilleure façon de procéder consiste à combiner des travaux extérieurs et intérieurs.

On trouvera ci-après un aperçu des diverses techniques de réfection, de leurs avantages et de leurs inconvénients. L'exécution de ces techniques est expliquée en détail aux chapitres 5 à 9.

4.1 RÉFECTION PAR L'EXTÉRIEUR

Comme pour tout travail de réfection, il est plus facile de justifier la réfection par l'extérieur lorsqu'elle s'intègre à d'autres travaux de rénovation. Les travaux de rénovation extérieure qui se prêtent bien à l'intégration de mesures d'économie d'énergie sont, entre autres, les suivants :

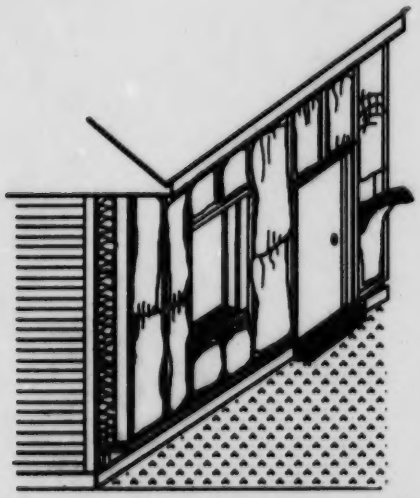
- travaux d'excavation préparatoires à l'imperméabilisation ou à l'hydrofugeage des murs de fondation;
- renouvellement du parement;
- modification structurale majeure apportée à l'extérieur des fondations ou des murs de la maison;
- remplacement d'une importante section de toit et
- modification architecturale majeure.

Tous les éléments de l'enveloppe thermique conviennent à une réfection par l'extérieur. Bien que l'exécution même du travail varie, les techniques employées auront plusieurs avantages communs.

4.1.1 *Avantages de la réfection par l'extérieur*

- Les travaux de réfection peuvent facilement s'intégrer à d'autres travaux de rénovation. C'est d'ailleurs lorsque le coût d'un nouveau parement, d'une nouvelle toiture ou de l'imperméabilisation a déjà été budgété qu'il est le plus facile de justifier le coût additionnel de l'étanchéisation et de l'addition d'isolant.

- Il est beaucoup plus facile de rendre l'enveloppe étanche lorsqu'on travaille de l'extérieur. Les ouvertures de la charpente et les interruptions causées par les cloisons, les planchers, les escaliers, les armoires et les garde-robes sont autant d'obstacles à l'étanchéisation lorsqu'on travaille à l'intérieur. Envelopper la maison entière peut la rendre très étanche.



Isolation par l'extérieur

- Il est plus facile d'installer un isolant thermique continu en travaillant de l'extérieur.

- L'exécution de la réfection par l'extérieur incommode moins les occupants de la maison. Ceux-ci peuvent continuer d'y habiter pendant l'exécution des travaux et sont très peu dérangés. On peut aussi accélérer les travaux qui, par ailleurs, ne rétrécissent pas l'aire habitable.

- La réfection par l'extérieur permet d'isoler du froid extérieur la masse thermique de l'immeuble et, en particulier, les murs de fondation, qui deviennent moins sensibles aux fluctuations de la température du sol lorsqu'ils sont gardés plus chauds. La masse thermique de la maison (béton, brique, etc.) est à l'abri dans l'enveloppe isolée et peut aider à contrôler les fluctuations de température causées par l'action du soleil ou d'un poêle à bois.

- La réfection par l'extérieur permet de modifier et d'embellir la façade du bâtiment.

4.1.2 *Inconvénients de la réfection par l'extérieur*

La réfection par l'extérieur peut aussi présenter certaines difficultés pour le propriétaire et l'entrepreneur. Elle peut notamment comporter les limites et les inconvénients que voici :

- Son coût est assez élevé. La réfection par l'extérieur peut s'avérer une solution coûteuse, à moins qu'on ne doive déjà assumer le coût d'un nouveau parement. Si l'immeuble a plusieurs étages, l'utilisation d'échafaudages peut aussi faire monter les frais.

- La marge de recul prescrite peut aussi poser un problème. Il peut être difficile ou même impossible d'ajouter 150 mm à 200 mm aux dimensions extérieures de la maison en raison des contraintes imposées par la limite du terrain ou une allée étroite. Dans ce cas, on peut contourner la difficulté en employant des panneaux isolants à valeur RSI unitaire plus élevée.

- La réfection modifie l'apparence extérieure de la maison. Or ce peut être une considération importante dans le cas d'un immeuble historique ou d'un immeuble à placage de brique ou aux caractéristiques architecturales intéressantes.

- Différents éléments extérieurs peuvent gêner l'exécution du travail. Les perrons, les escaliers, les allées, les trottoirs, les rosiers ou les arbres auxquels le propriétaire tient peuvent rendre difficile ou fort coûteuse la pose d'un isolant continu.

- L'isolation thermique par l'extérieur est sujette aux aléas du temps. Le calendrier d'exécution peut être modifié par le froid, le vent, la pluie.

- Lorsqu'un mur nouvellement isolé déborde l'avant-toit, on peut devoir prolonger le toit pour assurer une bonne ventilation au niveau de la sous-face.

4.2 RÉFECTION PAR L'INTÉRIEUR

Les travaux de réfection par l'intérieur peuvent facilement être intégrés à d'autres travaux de rénovation prévus. Il est plus facile de justifier la mise en oeuvre de mesures d'économie d'énergie et l'utilisation de produits favorisant de telles économies lorsqu'elles sont conjuguées à d'autres travaux de rénovation. Les travaux de rénovation intérieure qui se prêtent, de toute évidence, à l'exécution de travaux de réfection sont, entre autres, les suivants :

- conversion du sous-sol en un espace de séjour - salle de jeux, chambre supplémentaire, etc.;
- remplacement du revêtement mural pour camoufler les défauts du plâtre ou des panneaux muraux;
- renouvellement du câblage électrique et des canalisations de plomberie ou modification du système de chauffage ou de climatisation;
- amélioration ou modification majeure et
- réaménagement intérieur important.

Chaque partie de la maison - sous-sol, murs de superstructure et toit - nécessite l'emploi de critères de conception et de modes d'exécution distincts.

4.2.1 *Avantages de la réfection par l'intérieur*

- Le travail s'intègre à d'autres travaux de rénovation intérieure, tels l'enlèvement de cloisons, le replâtrage, etc.

- Il est indépendant du temps. Comme il se fait à l'intérieur, il peut être exécuté à n'importe quel moment de l'année.

- L'extérieur demeure intact. Dans bien des cas, il est très important de conserver à la maison son apparence extérieure.

- La réfection par l'intérieur permet d'améliorer l'équipement mécanique et électrique, puisqu'on a accès à ces derniers pendant son exécution. On peut alors poser des conduites et en isoler les raccords, améliorer la plomberie et remplacer ou prolonger le câblage électrique.

- L'exécution est plus facile. On se sert des techniques d'ossature traditionnelles et on a rarement besoin d'échelle, d'échafaudages, etc.

4.2.2 *Inconvénients de la réfection par l'intérieur*

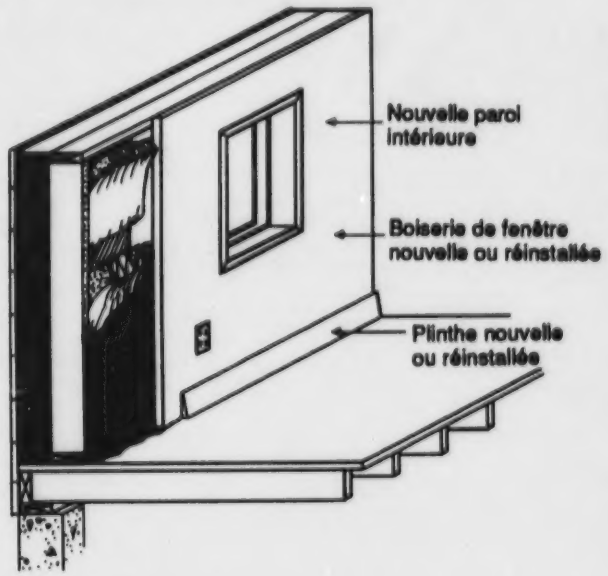
- Il est difficile d'installer un pare-air continu. Les cloisons, la bordure du plancher, les escaliers et divers autres éléments peuvent gêner ou empêcher la pose d'un pare-air continu.

- Il peut être difficile d'installer beaucoup d'isolant. Il n'est pas facile de bien isoler les endroits où on a peine à mettre un pare-air. Les embrasures de porte et les halls d'entrée peuvent imposer leurs propres restrictions quant à l'épaisseur du mur fini.

- Les travaux dérangent les occupants. De fait, la maison peut être inhabitable pendant la durée leur exécution.

- La réfection peut réduire l'aire habitable. L'isolation par l'intérieur peut en effet abaisser les plafonds et rapprocher les murs. Souvent, il faut faire un compromis et sacrifier l'isolement à l'espace.

- La réfection modifie l'apparence intérieure de la maison. Certaines caractéristiques d'intérêt, telles des moulures inusitées, peuvent être détruites ou masquées au cours des travaux.



Isolation par l'intérieur

5

GÉNÉRALITÉS SUR L'EXÉCUTION DE LA RÉFECTION

L'entrepreneur expérimenté aura peu de difficulté à intégrer les travaux de réfection aux autres travaux, car la réfection fait le plus souvent appel aux matériaux, compétences et procédés usuels de la construction.

Le présent chapitre constituera ni plus ni moins qu'une mise à jour pour l'entrepreneur qui travaille déjà dans le domaine du bâtiment à bon rendement énergétique. Il offre par ailleurs une bonne introduction pour les nouveaux venus dans le domaine.

On trouvera en 5.1 un aperçu des différents matériaux employés en réfection. Il importe de bien se familiariser avec les diverses solutions possibles pour produire un grand isolement thermique et l'étanchéité du bâtiment. Bien qu'on trouve couramment la plupart de ces matériaux dans le commerce, plusieurs sont récents.

L'expérimentation sur place est souvent un bon moyen de voir quels matériaux et techniques conviennent le mieux à l'entrepreneur. Cependant, il faut, à tout le moins, avoir une connaissance rudimentaire des propriétés des divers matériaux, de leurs avantages et de leurs limites, pour s'assurer un meilleur rendement.

L'entrepreneur trouvera en 5.2 un aperçu des répercussions de la réfection complète sur le reste des travaux. On y traite des compétences requises, de l'enchaînement et de la supervision des travaux, ainsi que de l'établissement de leur coût.

Bien qu'il n'est nullement question d'indiquer à l'entrepreneur comment mener son affaire, on lui rappelle certains principes touchant la marche quotidienne de l'entreprise.

5.1 MATÉRIAUX

L'entrepreneur en réfection se sert d'un assortiment de matériaux traditionnels et nouveaux. Au moment de décider des matériaux à employer, il doit tenir compte de l'usage auquel il les destine, ainsi que des instructions du fabricant, de leur disponibilité et de leur coût.

Rendement

L'entrepreneur doit connaître les propriétés des matériaux utilisés. Par exemple, il doit savoir qu'un hydrofuge qui n'est pas mûri peut attaquer certains types d'isolants rigides et que certaines pâtes de calfeutrage n'adhèrent pas au béton. Il est essentiel de se familiariser d'abord avec les instructions du fabricant et avec les normes pertinentes pour assurer la réussite de l'installation.

Disponibilité

La réfection de la maison entière nécessite l'emploi de certains articles spécialisés et de matériaux nouvellement mis au point qu'on peut ne pas pouvoir se procurer localement. On peut donc devoir allouer plus de temps pour trouver et faire livrer ces produits, que le fabricant n'aura peut-être pas toujours en stock. Une bonne planification et de bonnes communications avec les fournisseurs éviteront les retards causés par un manque de matériaux.

Coût

Le calcul de la rentabilité devrait se fonder sur le coût après installation, lequel tiendra compte des frais engendrés par les facteurs suivants :

- particularités de manutention (entreposage ou protection sur le chantier);
- facilité de manutention (mesures d'hygiène et de sécurité);
- particularités d'installation (restrictions de température, temps de mûrissement, pertes possibles), modifications structurales nécessaires, préparation des surfaces (couche d'impression, nettoyage, application d'un bouche-pores, par exemple);
- effets sur l'enchaînement des travaux;
- particularités relatives à la préparation du site, à l'utilisation de supports mécaniques et à un revêtement protecteur;
- accessoires nécessaires (couche d'impression, ruban, attaches, adhésif, enduit ou revêtement protecteur et revêtement de finition) et
- disponibilité, compte tenu d'une livraison tardive et de frais de transport supplémentaires.

Étant donné ces coûts cachés, il est souvent plus facile de comparer la rentabilité des systèmes assemblés plutôt celle que de leurs composants.

Mise à jour constante

Il importe de se tenir au courant des nouveaux produits mis en marché et des modifications apportées aux spécifications. La documentation produite par les fabricants est une source d'information. L'Association canadienne des constructeurs d'habitations a aussi publié un catalogue, intitulé *A National Catalogue of Energy Conserving Products and Services*, qui offre des renseignements généraux sur beaucoup de nouveaux produits. De plus, un grand nombre de revues et de périodiques professionnels sont maintenant consacrés à l'amélioration du rendement énergétique et à la rénovation. On trouvera une liste d'ouvrages utiles à l'annexe B.

5.1.2 Matériaux isolants

Il y a des matériaux isolants pour toutes sortes d'usage et de conditions. Le choix du matériau dépendra de diverses considérations, parmi lesquelles :

- la résistance thermique ou valeur RSI;
- le coût, plus facile à comparer lorsqu'il est exprimé en $/RSI/m²;
- la facilité d'installation et les particularités de fixation;
- la résistance au passage de l'air;
- la perméance, c'est-à-dire la propriété du matériau de laisser passer la vapeur d'eau;
- la résistance à l'eau et le tassement;
- la stabilité et la durée utile escomptée; ainsi que
- l'hygiène et la sécurité.

Les propriétés des matériaux isolants les plus courants en réfection poussée sont résumées au tableau 5.1. Les observations qui suivent donnent une indication des travaux de réfection auxquels ces matériaux conviennent, ainsi que des particularités de manutention et des restrictions dont ils s'assortissent. Pour de plus amples renseignements, il faudrait se reporter aux fiches techniques du fabricant ou encore au *Manuel des rapports d'évaluation des matériaux de construction*. Ce recueil de la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) décrit les caractéristiques des matériaux et les résultats des essais auxquels ils ont été soumis. On peut se procurer copie des divers rapports au bureau local de la SCHL.

TABLEAU 5.1

MATÉRIAU	IMPERMÉABILITÉ	ÉTANCHÉITÉ	RSI/mm
fibre cellulosique	médiocre	bonne	0,025
fibre de verre			
- en vrac	médiocre	médiocre	0,021
- en nattes	médiocre	médiocre	0,022
fibre de verre rigide			
au-dessus du niveau du sol	médiocre	très bonne	0,031
au-dessous du niveau du sol	médiocre	s/o (fonction du revêtement)	0,031
polystyrène			
Type I	médiocre	moyenne (fonction de l'installation)	0,026
Type II	médiocre	très bonne	0,027
Type III	très bonne	très bonne	0,027
Type IV	très bonne	très bonne	0,035
polyuréthane	très bonne	très bonne	0,042
polyisocynanurate	très bonne	très bonne	0,042
revêtement phénolique			
recouvert d'un papier paraffiné	médiocre	très bonne	0,030

Divers matériaux se prêtent à une **installation en vrac ou par injection**, à des densités différentes. Au moment de poser l'isolant, il faut s'assurer :

- de ne pas obstruer les évents de sous-face;
- de ne pas mettre d'isolant autour des sources de chaleur, comme les cheminées ou les appareils d'éclairage encastrés;
- d'installer le matériau à la densité prescrite;
- de ne pas comprimer l'isolant déjà en place et,
- lorsque l'isolant doit être posé dans un endroit humide ou pouvant l'être, d'employer un matériau conçu pour supporter de telles conditions.

La fibre cellulosique peut être versée ou injectée et convient le mieux aux entretoits, aux murs et aux cavités fermées. Elle assure une bonne étanchéité à l'air lorsqu'elle est utilisée à la densité qui convient.

La fibre de verre et **la laine minérale** en vrac sont les isolants le plus souvent employés dans l'entretoit.

La fibre de verre et **la laine minérale** se vendent en vrac, en nattes souples ou en panneaux semi-rigides. Ces matériaux résistent à l'eau et sont incombustibles. Par souci de confort et de sécurité, il faut porter vêtements et masque protecteurs pour les mettre en place.

Il existe aussi des **nattes maintenues par friction** qui s'adaptent aux espaces entre les poteaux ou les solives. On les emploie surtout pour isoler les murs creux et les nouveaux pans de mur intérieurs, les murs-rideaux extérieurs et les murs à poteaux composés ajourés. Ces nattes doivent être posées à serre de façon qu'il n'y ait pas d'ouverture permettant la formation de courants d'air dans le mur. Il faut faire particulièrement attention quand on pose les nattes verticalement.

Des panneaux semi-rigides en fibres de verre ont été conçus pour des utilisations particulières. Un des modèles offerts est un revêtement extérieur non structural doublé d'un pare-air en oléfine non tissée. On s'en sert le plus souvent dans les bâtiments neufs. Un deuxième modèle sert d'isolant extérieur pour les sous-sols. Cet isolant semi-rigide en fibres de verre permet l'écoulement de l'eau jusqu'au drain périphérique; il doit être installé verticalement jusqu'à hauteur de la semelle et ne comporter aucun joint horizontal.

L'isolant de polystyrène rigide est offert en quatre densités : type I, type II, type III et type IV. Les quatre modèles s'emploient à l'intérieur, pour les murs de fondation et de superstructure et pour les plafonds. Il est interdit d'utiliser l'isolant de type I à l'extérieur, sous terre. L'isolant de type II peut par contre être employé de la sorte dans les sols bien drainés. Enfin, la grande résistance à la compression et la faible absorption de l'isolant de type IV en font un matériau idéal pour l'isolation de la partie enfouie des fondations. Un modèle spécial, comportant une couche "drainante", est utilisé lorsque l'isolant est posé du côté extérieur des fondations.

Au moment de poser un isolant à base de matière plastique, il faut tenir compte des considérations que voici :

- Il faut protéger les matériaux du soleil, des solvants et des produits à base de goudron qui peuvent attaquer le polystyrène.
- Les codes du bâtiment obligent en outre à protéger le polystyrène posé à l'intérieur, en le recouvrant d'un matériau ignifuge fixé à la structure par des attaches mécaniques.

- Lorsque le matériau est posé sur un mur de maçonnerie, il faut s'assurer que la surface sous-jacente est lisse pour éviter les vides propices aux pertes de chaleur par convection derrière l'isolant.

Le revêtement phénolique est un panneau rigide qui sert surtout comme revêtement extérieur dans les immeubles neufs. Ce matériau est imperméable à l'eau, mais non à la vapeur. Il ne peut donc pas servir de pare-vapeur.

Le polyuréthane et **le polyisocyanurate** sont des isolants plus coûteux à haut rendement, qu'on utilise le plus souvent dans les endroits où l'espace est limité. Certains panneaux rigides sont doublés d'aluminium ou de papier kraft, d'autres peuvent être liaisonnés en usine à un matériau de bardage. Ces isolants servent surtout comme revêtement extérieur et pour l'isolation thermique du toit.

Le polyuréthane se vend également sous forme de mousse à pulvériser. Il peut alors servir à la fois de matériau d'étanchéisation et d'isolant pour remplir les fentes de grandes dimensions, comme les fuites d'air de l'entretoit ou l'espace entre l'ouverture brute d'une fenêtre et son cadre. Il se vend seul, en petits contenants, ou combiné à un autre matériau, sous forme d'isolant en vrac.

Le polyuréthane doit être protégé du soleil et peut être endommagé par l'humidité. Lorsqu'on le pose à l'intérieur, il faut le recouvrir d'un matériau ignifuge fixé par des attaches métalliques à la structure.

5.1.3 *Revêtements protecteurs et bardage*

Il faut recouvrir l'isolant posé à l'extérieur des fondations au-dessus du niveau du sol, afin de le protéger contre le soleil, l'eau, les insectes et les chocs accidentels. Plusieurs nouveaux matériaux ont été mis au point à cette fin expresse. Un bon nombre s'appliquent à la truelle et se substituent au crépissage en deux ou trois étapes. Le choix du revêtement protecteur devrait prendre en considération les points suivants :

- coût une fois mis en place;
- facilité de mise en place;
- apparence et
- durabilité et facilité de réparation.

5.1.3.1 *Enduits*

Crépi sur latte - Ce revêtement protecteur traditionel se pose en deux étapes. Une latte de métal déployé est d'abord fixée aux fondations, à l'aide d'attaches métalliques enfoncées à travers l'isolant; puis, deux ou trois couches de crépi à base de ciment sont appliquées par-dessus la latte. Bien que ce procédé demande le plus de main-d'oeuvre, c'est celui qui est le mieux connu de l'industrie.

Enduit sans support - Il existe plusieurs sortes d'enduits qui n'exigent pas de latte de métal. Ces matériaux nécessitent un mininum d'apprêt de la surface et demandent moins de main-d'oeuvre. Toutefois, ils ne résistent pas aussi bien aux chocs que le crépi sur latte ou les panneaux rigides.

5.1.3.2 *Panneaux rigides*

Plusieurs types de panneaux peuvent servir de revêtement protecteur au niveau des fondations.

Le plaques d'amiante-ciment conviennent à tous les isolants pour fondations et sont relativement faciles à installer à l'aide d'attaches mécaniques. Toutefois, elle sont fragiles et faciles à endommager. Étant donné leur teneur en fibres d'amiante, il faut aussi prendre des précautions au découpage et à la manutention. On recommande par conséquent d'employer d'autres matériaux dans la mesure du possible.

Le contreplaqué traité sous pression convient à tous les types d'isolant pour fondations et se fixe au moyen d'attaches mécaniques. On ne devrait toutefois l'employer que dans les sols bien drainés. Il n'est pas nécessaire d'y appliquer une finition, mais ce peut être souhaitable pour des raisons d'esthétique.

Les panneaux de fibres de verre renforcés ont été mis au point pour protéger l'isolant-mousse rigide. Ils résistent très bien aux ultraviolets, aux chocs et aux intempéries.

5.1.4 *Accessoires pour isolant*

Trois types d'accessoires s'emploient avec les isolants : les attaches mécaniques, les adhésifs de fixation et les déflecteurs pour sous-face.

Attaches mécaniques - Certaines attaches brevetées ont été mises au point pour fixer l'isolant rigide aux murs de maçonnerie. Ces attaches servent également de points d'ancrage pour la latte métallique ou le revêtement de finition, de sorte qu'il n'est pas nécessaire de poser un fond de clouage.

Adhésifs de fixation - Il existe deux types d'adhésif pour fixer les panneaux isolants rigides. On se sert de mastic ou de caoutchouc synthétique (qu'on appelle habituellement mousse ou adhésif pour panneaux) pour maintenir le polystyrène rigide en place et d'adhésif à base d'asphalte pour fixer les panneaux de fibres de verre à la maçonnerie.

Déflecteurs pour sous-face - Le cheminement de l'air pénétrant dans l'entretoit par la sous-face peut être bloqué par le glissement de l'isolant vers l'avant-toit. On a donc conçu des déflecteurs qui, fixés aux chevrons, à l'avant-toit, assurent la libre ventilation de l'entretoit. Ces déflecteurs sont faits de carton, de plastique ou de mousse rigide et se vendent en plusieurs dimensions pour s'adapter à l'espacement entre les chevrons. Certains modèles permettent également de diminuer l'infiltration d'air extérieur dans l'isolant.

5.1.5 *Matériaux d'étanchéisation et pare-vapeur*

Comme on l'a indiqué au chapitre 2, la recherche en bâtiment a permis de mieux connaître les critères auxquels doivent répondre les pare-air et les pare-vapeur.

Le pare-air
- **doit être continu et**
- **doit, par sa structure, pouvoir résister à la charge due au vent.**

Le pare-vapeur
- **devrait être situé plus près de la face intérieure qu'extérieure et**
- **n'a pas besoin d'être continu.**

Le pare-air-vapeur
- **doit être continu, lorsqu'un seul et même matériau remplit les deux fonctions.**

Certains matériaux conviennent seulement comme pare-air ou comme pare-vapeur, tandis que d'autres peuvent remplir les deux fonctions, s'ils sont installés de façon continue, c'est-à-dire si l'on en a étanché tous les bords, joints et ouvertures accidentelles ou délibérées. Les ensembles les plus courants en réfection complète sont le pare-air et pare-vapeur de polyéthylène et le pare-air en panneau de mur sec recouverts d'une peinture ou d'une membrane pare-vapeur.

5.1.5.1 *Pare-air et pare-vapeur : matériaux en feuilles*

Le polyéthylène est le matériau le plus courant. Il combine les caractéristiques du pare-air à celles du pare-vapeur. Lorsqu'on prend soin d'en étancher les joints et les bords, ainsi que le pourtour des ouvertures qui y sont pratiquées, il constitue un bon pare-air qui présente aussi les caractéristiques d'un pare-vapeur efficace. Plus on a pris conscience de l'importance de la continuité du pare-air, plus on s'est efforcé de choisir un matériau de type et de qualité propres à en assurer le rendement et la durabilité.

Les feuilles de polyéthylène produites sont classées en fonction de la résine employée pour leur fabrication. Les feuilles de qualité inférieure sont fabriquées à partir de résine recyclée et peuvent présenter des marques, des bulles, des zones opaques et même des trous minuscules (de la taille d'une pointe d'épingle). Le polyéthylène employé dans le bâtiment devrait être fabriqué à partir de résine vierge. En règle générale, plus la feuille est transparente, meilleure elle est. Les rayons ultraviolets du soleil et les températures élevées peuvent endommager ce matériau. Le polyéthylène le plus durable est fait de résine comportant des absorbeurs UV et des anti-oxydants. Le polyéthylène au carbone et le polyéthylène transparent à absorbeurs UV qui est utilisé dans les serres résistent très bien aux ultraviolets.

Le polyéthylène est fabriqué en différentes épaisseurs. Dans le bâtiment, on utilise surtout des feuilles de 0,05 mm, 0,10 mm et 0,15 mm d'épaisseur. Comme le polyéthylène est sujet aux piqûres, aux déchirures et à aux éraflures, il est préférable d'employer une feuille plus épaisse (0,15 mm) comme pare-air.

La feuille d'aluminium est très peu perméable et résiste au passage de l'air. Elle peut servir à la fois de pare-air et de pare-vapeur, lorsqu'elle est installée de façon continue. Cependant, il ne faut pas l'installer dans les endroits où elle risque d'être en contact avec l'humidité de la maçonnerie.

La feuille d'aluminium est sujette aux piqûres et aux déchirures. Sa fragilité la rend plus difficile à employer que le polyéthylène et, comme elle est aussi plus étroite, elle suppose plus de joints. Étant donné ces considérations et son coût, on l'emploie assez rarement comme pare-air et pare-vapeur combiné.

La feuille d'aluminium installée sous du placoplâtre peut néanmoins constituer un bon pare-vapeur.

5.1.5.2 *Pare-air et pare-vapeur : matériaux rigides*

Les matériaux rigides à faible perméance peuvent également servir de pare-air et pare-vapeur combiné à l'intérieur de la maison. Ce sont des pare-vapeur naturels et, lorsqu'ils sont bien installés, ils peuvent aussi jouer le rôle de pare-air. Il faut alors s'assurer d'en étancher les joints et les bords, de même que le pourtour de toute ouverture qui y est pratiquée, et les rattacher par un joint étanche aux autres éléments pare-air de l'enveloppe. Il y a en marché des isolants rigides de polyisocyanurate et de polyuréthane qui comportent une feuille d'aluminium sur une ou deux faces. Ces isolants peuvent servir de pare-air et pare-vapeur combiné, tout comme le polystyrène extrudé installé de façon à former une membrane continue. Les isolants rigides s'emploient surtout aux endroits difficiles d'accès, dans l'espace entre les solives de plancher, par exemple.

Les panneaux de mur sec doublés d'aluminium peuvent servir de pare-air et pare-vapeur combiné, lorsqu'ils sont installés selon la méthode du pare-air en mur sec. La feuille d'aluminium sert de pare-vapeur, tandis que les panneaux de mur sec agissent comme pare-air.

L'isolant de polystyrène de type III ou IV se vend en panneaux rigides faisant obstacle au passage de l'air et de la vapeur. Installé de façon continue, il peut servir à la fois de pare-air et de pare-vapeur.

Le contreplaqué et le panneau de copeaux (de qualité convenant à la pose extérieure) sont d'autres matériaux rigides faisant obstacle à l'air et à la vapeur d'eau. Le contreplaqué utilisé à cette fin se pose de la même façon que le pare-air en mur sec (dont il est question ci-dessous). Le plus souvent, on s'en sert comme sous-plancher et on le joint de façon étanche au revêtement de finition murale.

5.1.5.3 *Pare-air : matériaux rigides*

Certaines techniques de pose de pare-air font appel à un matériau de grande perméance, comme le panneau de mur sec. Dans ce cas, le pare-vapeur est assuré par un matériau distinct.

Le panneau de mur sec est un matériau de construction courant qui s'oppose à la circulation de l'air. Lorsqu'on l'utilise comme pare-air, on peut en assurer la continuité en appliquant une pâte de calfeutrage ou une garniture d'étanchéité à son joint avec d'autres matériaux de construction rigides faisant obstacle au passage de l'air. Il faut s'assurer d'étancher tous les joints des panneaux de mur sec et le pourtour de toutes les ouvertures qui y sont pratiquées.

5.1.5.4 *Pare-air : matériaux en feuilles*

La polyoléfine non tissée est faite de fibres de polyéthylène. Elle bloque la circulation de l'air, mais permet la propagation de la vapeur d'eau. L'oléfine non tissée convient le mieux à une utilisation extérieure. Lorsqu'on emploie ce matériau en construction, il faut installer un pare-air et un pare-vapeur à l'intérieur. Dans les immeubles neufs, on peut en envelopper les solives de rive et de bordure, puis en joindre le rabat de façon étanche au pare-air mural pour étancher l'espace adjacent aux solives.

5.1.5.5 *Pare-vapeur*

Lorsque le pare-air continu est constitué d'un matériau perméable à la vapeur, comme un panneau de mur sec ou une feuille de polyoléfine, il faut poser un pare-vapeur distinct du côté intérieur de l'isolant.

Divers produits de finition intérieure peuvent servir de pare-vapeur. Ce sont notamment les peintures à base d'aluminium, d'asphalte, de résine d'alkyde ou d'huile. Il existe aussi des peintures peu perméables permettant de ralentir la dispersion de la vapeur d'eau.

D'autres matériaux d'usage courant comme pare-vapeur sont le polyéthylène et le polystyrène extrudé. Lorsqu'il y a déjà un pare-air, il n'est pas nécessaire d'installer ces matériaux de façon continue.

Certains autres matériaux de construction, comme les papiers asphaltés et les papiers bakélisés, peuvent aussi servir de pare-vapeur.

5.1.6 *Accessoires pour pare-air et pare-vapeur*

À mesure qu'on a pris conscience de l'importance de l'étanchéité en construction, on a perfectionné des produits permettant d'assurer la continuité du pare-air. Ainsi, on a mis en marché des pâtes de calfeutrage, des garnitures d'étanchéité et des rubans adhésifs à utiliser en complément du matériau pare-air.

5.1.6.1 *Pâtes de calfeutrage*

Les pâtes de calfeutrage sont des produits aux propriétés diverses qui conviennent à la plupart des usages. Les plus courantes sont l'isolant acoustique, le latex acrylique, le butylcaoutchouc, les polysulfures et le silicone. Ces matériaux diffèrent aux plans suivants :

- adhérence et élasticité,
- température d'utilisation et résistance aux intempéries,
- couche d'impression et mûrissement requis, émanations,
- durabilité et
- compatibilité avec d'autres matériaux.

Dans la plupart des cas, lorsque la pâte de calfeutrage est appliquée dans l'ossature même, on recommande d'employer les matériaux les plus durables.

Les propriétés du matériau employé peuvent varier selon la marque et il convient d'étudier les caractéristiques techniques indiquées par le fabricant, avant d'arrêter son choix.

De fait, le choix de la pâte de calfeutrage à utiliser à une fin particulière devrait se fonder sur les considérations suivantes :

- dimension du joint (lorsque l'espace à obturer a plus de 6 mm, il faut y insérer une baguette de joint avant de mettre la pâte de calfeutrage)
- mobilité escomptée du joint
- surface à étancher et
- conditions ambiantes, c'est-à-dire exposition aux intempéries, température, etc.

La capacité de liaisonnement aux matériaux adjacents est une autre considération importante. On trouvera dans l'encadré ci-après un résumé des principaux emplois des divers matériaux.

Usage de divers produits d'étanchéité

Bois sur bois
Lorsque le joint a moins de 9 mm, tous les produits d'étanchéité à base d'acrylique conviennent. Employer des produits à base de silicone lorsque l'ouverture a plus de 9 mm ou moins de 0,14 mm.

Bois sur maçonnerie
Employer du butylcaoutchouc pour les joints de 12 mm et du polysulfure pour les joints ayant jusqu'à 19 mm ou les endroits humides. (Il faut d'abord appliquer une couche d'impression.)

Bois sur métal
Tous les produits à base d'acrylique peuvent servir pour les joints d'au plus 9 mm. Le butylcaoutchouc convient aux ouvertures maximales de 12 mm et les produits au silicone aux joints qui ont jusqu'à 25 mm ou risquent de travailler beaucoup. On peut utiliser une mousse d'uréthane dans les joints de plus de 25 mm, mais ce produit ne sera pas efficace si les joints travaillent beaucoup.

Maçonnerie sur maçonnerie
Le butylcaoutchouc s'emploie dans les joints d'au plus 12 mm; le polysulfure s'adapte aux joints de 9 mm à 19 mm et les coulis et les mastics imperméabilisants conviennent mieux aux ouvertures de plus de 19 mm. Le polysulfure est un bon choix quand le joint est susceptible de travailler beaucoup. Il faut, dans tous les cas, appliquer une couche d'impression.

Polyéthylène
L'isolant acoustique est l'un des quelques matériaux qui assure un bon joint d'étanchéité dans le cas du polyéthylène. Toutefois, ce produit n'est pas un adhésif et il faut le compléter en vissant, clouant ou agrafant un autre matériau à la structure (tasseau, ruban, etc.)

(Suite)

Température élevée
Les produits au silicone sont efficaces à des températures assez élevées, mais il ne faut pas dépasser la température d'emploi indiquée. Le produit d'étanchéité au silicone vulcanisé à température ambiante peut supporter des températures élevées, mais nécessite l'emploi de méthodes d'application très particulières. On peut aussi employer un mastic réfractaire ou un mastic pour tuyau d'échappement.

Humidité élevée
La plupart des produits à base de silicone conviennent. On peut aussi employer un acétate vinyle à base d'eau, s'il contient un agent protecteur contre les champignons et la moisissure.

Électricité
Employer une pâte de calfeutrage pour conduits électriques pour stopper les fuites d'air au niveau du branchement d'abonné. Ce produit s'applique à l'intérieur du conduit, à sa jonction avec le tableau de distribution ou à son entrée dans la maison du côté extérieur. Il faut respecter le code local d'électricité.

La résistance du calfeutrage dépendra non seulement du produit choisi, mais aussi de son application. Étant donné la fluidité du matériau, il importe de suivre les recommandations du fabricant en ce qui concerne :

- la préparation de la surface,
- la température de pose,
- la couche d'impression et le mûrissement,
- la bonne application du cordon de pâte de calfeutrage,
- le façonnage du cordon et
- la compatibilité des matériaux.

Pour plus de détails sur les propriétés des pâtes de calfeutrage et la bonne façon de les appliquer, se reporter au manuel intitulé *Étanchéisation des maisons aux fins de l'économie d'énergie* mentionné en annexe B.

5.1.6.2 *Garnitures d'étanchéité*

Les garnitures d'étanchéité sont des matériaux souples, faits de mousse à alvéoles ouvertes ou fermées, vendues sous forme de rubans et de profilés cylindriques. Il existe également des garnitures façonnées en usine qui s'adaptent aux prises de courant. Ces garnitures assurent l'étanchéité par compression et sont conçues pour tolérer une certaine mobilité du joint. Elles diffèrent aux plans suivants :

- compressibilité et élasticité,
- perméabilité,
- composition et stabilité chimiques,
- durabilité et intégrité d'apparence,
- résistance à la charge due au vent et
- compatibilité avec d'autres matériaux.

Les garnitures d'étanchéité ont deux avantages sur les pâtes de calfeutrage : elles s'installent avec aisance et rapidité et conviennent mieux aux travaux exécutés par temps froid. Les garnitures les plus souvent employées à diverses fins sont les suivantes :

- **Les garnitures-rubans** assurent l'étanchéité à la jonction d'éléments de structure, tels le mur de fondation et la lisse basse.
- **Les garnitures cylindriques (baguettes de joint)** servent le plus souvent de support à la pâte de calfeutrage appliquée dans les joints très ouverts. Elles servent également à étancher les joints de compression du pare-vapeur constitué de panneaux de mur sec.
- **Les garnitures électriques** servent pour les prises de courant.
- **Les garnitures fabriquées sur place** à l'aide de feuilles de butyicaoutchouc servent à étancher les ouvertures par lesquelles les canalisations de plomberie et autres éléments d'infrastructure traversent un mur de fondation ou passent dans l'entretoit.
- **La garniture de lisse en mousse de polyéthylène (Ethafoam)** s'emploie au niveau de la lisse basse.

5.1.6.3 *Rubans adhésifs*

Les rubans adhésifs utilisés dans le bâtiment sont constitués d'un adhésif sur support souple, fait de polypropylène, d'une feuille métallique, de papier ou de tissu métallisé ou encore de tissu. Ils diffèrent aux plans suivants :

- résistance à la rupture par traction,
- allongement,
- adhérence aux différents matériaux,
- durabilité et résistance aux écarts de température et
- souplesse et pégosité (adhérence instantanée) à basse température.

Les rubans adhésifs conviennent à l'étanchéisation des joints de matériaux en feuilles qui sont virtuellement immobiles. Le choix du ruban devrait être fonction des facteurs suivants :

- matériaux à réunir,
- préparation de la surface requise et
- température de mise en place et d'utilisation.

Les rubans adhésifs sont assez faciles à mettre en place. Les plus courants sont les suivants :

Les rubans adhésifs en polypropylène ont été conçus pour étancher les joints de l'oléfine non tissée et du polyéthylène. Ils peuvent également être appliqués sur le bois ou sur les canalisations et les conduites qui traversent le pare-air ou le pare-vapeur.

Les rubans métallisés servent le plus souvent à étancher les joints d'isolants rigides doublés d'une feuille métallique.

Les rubans de tissu métallisé, qu'on appelle couramment rubans pour conduites, ont été mis au point pour stopper les fuites d'air le long des conduites des systèmes de chauffage à air pulsé. Ils peuvent résister à des températures d'utilisation élevées.

5.2 MAIN-D'OEUVRE ET SUPERVISION

La réfection de la maison entière oblige habituellement à modifier légèrement les procédés d'exécution des travaux de rénovation traditionnels. Lorsque l'entrepreneur en est conscient avant de commencer le travail, tout se déroule beaucoup mieux et il y a moins de risques d'erreurs et de modifications coûteuses. L'entrepreneur averti sera mieux en mesure d'adapter les procédés de construction aux compétences disponibles et aux techniques courantes dans la région et pourra estimer le coût du travail entier avec exactitude. Pour ce faire, il faudra :

- bien coordonner l'intervention des différents corps de métier;
- faciliter la tâche de chacun, en organisant le travail de façon à respecter ses pratiques particulières;
- veiller à ce que toutes les étapes du travail se succèdent sans interruption ni retard et
- éviter les reprises et les modifications.

5.2.1 Compétences requises pour la réfection de la maison entière

Seuls quelques aspects du travail de réfection exigent une formation complémentaire ou la supervision du chantier. L'entrepreneur expérimenté saura faire comprendre aux ouvriers l'importnace d'un travail de qualité pour assurer le bon isolement thermique et l'étanchéité de la construction.

La plupart des travaux de réfection sont exécutés par des entrepreneurs en rénovation dont l'entreprise est assez petite. Bien que certains font couramment appel à des sous-traitants, la grande majorité a son propre personnel. Dans l'entreprise classique, le personnel de l'entrepreneur s'occupera des travaux suivants :

- préparation des murs,
- ossature murale,
- isolation thermique,
- pose du pare-air.

L'entrepreneur s'adressa par contre à des sous-traitants pour les travaux suivants :

- pose du bardage,
- pose des panneaux de mur sec,
- électricité,
- plomberie et
- équipement mécanique.

La liste de contrôle reproduite ci-après aidera l'entrepreneur à donner ses instructions aux sous-traitants ou aux ouvriers qui travaillent à un projet de réfection majeure. Ces points pourraient d'ailleurs figurer au cahier des charges remis aux sous-traitants ou être communiqués aux ouvriers à titre de principes directeurs. Lorsque la réfection complète exige l'adaptation des procédés usuels, l'entrepreneur devrait le préciser dans le cahier des charges.

5.2.2 Cahier des charges type de la réfection par l'extérieur

Préparatifs et pose du pare-air

- Enlever ou déplacer tout ce qui est au mur et risque de déchirer le polyéthylène.
- Aplanir toute aspérité susceptible de causer la formation d'un vide notable derrière le polyéthylène.
- Installer le polyéthylène en feuilles continues de la plus grande dimension possible.
- Exécuter les joints à la manière expliquée au chapitre 7.
- Réparer toute déchirure ou rupture accidentelle du polyéthylène.
- Ne jamais appuyer d'échelles et d'outils directement contre le polyéthylène.
- Éviter d'exposer le polyéthylène aux rayons du soleil ou employer un matériau à absorbeurs UV.

Ossature murale

- Mettre l'ossature d'aplomb et de niveau et la caler au besoin.
- Calculer l'entraxe des poteaux en fonction des dimensions de l'isolant et du revêtement.
- Utiliser le moins de bois possible pour diminuer les ponts thermiques, en s'assurant néanmoins de respecter les portées requises.
- Employer des attaches mécaniques pour fixer l'ossature servant à la réfection directement aux poteaux, à la sablière, à la lisse et aux solives de la structure en place.

Isolant

- Poser l'isolant de manière à garder au minimum la circulation d'air dans le nouveau mur.
- Ne pas trop le comprimer.
- Bien le protéger contre l'humidité et éviter de le laisser trop longtemps au soleil.

Revêtement intermédiaire et bardage

- Installer le revêtement intermédiaire mural de façon à limiter la circulation d'air froid dans le mur après la réfection.
- Étancher les joints et les bords du pare-air extérieur, en y appliquant un ruban adhésif et en les superposant à un support solide.
- Mettre un solin au-dessus des portes et des fenêtres.
- Déplacer et raccorder à nouveau les descentes pluviales.
- De préférence, mettre un solin au prolongement des seuils.

Électricité et services publics

- Au besoin, déplacer ou écarter temporairement du mur extérieur le poteau et le conduit de branchement au secteur.
- Dégager les prises de courant et les appareils d'éclairage extérieurs pour les adapter à la surface du nouveau mur extérieur.
- Au besoin, prolonger les canalisations d'amenée et de compteur de gaz ou le tuyau de remplissage du réservoir à mazout.

Plomberie

- Tirer les robinets extérieurs vers le dehors pour les adapter à l'épaisseur du mur après réfection.

Évents

- Prolonger les conduittes de l'évent de la sécheuse et des ventilateurs de cuisine et de salle de bains.

5.2.3 Cahier des charges type de la réfection par l'intérieur

Préparatifs

- Avant d'entreprendre le travail, s'assurer qu'on a remédié à tous les problèmes structuraux.
- Perforer, fendre ou enlever tout pare-air ou pare-vapeur continu qui risque de tenir lieu de deuxième pare-vapeur. Il peut s'agir, par exemple, d'un pare-vapeur de polyéthylène intégré au mur ou d'un revêtement de finition comme une peinture émail, un papier peint en vinyle ou des carreaux de céramique.
- Enlever les plinthes, les boiseries de fenêtre et de porte, etc.
- Ménager l'accès à la cavité murale et à l'espace entre les solives lorsqu'il faut assurer la continuité verticale et horizontale du pare-air.

Ossature

- Utiliser le moins de bois possible, étant donné que la nouvelle ossature murale n'est pas porteuse.
- S'assurer de fournir un support convenable au revêtement de finition intérieure.
- Dimensionner l'ouverture brute de chaque fenêtre en tenant compte du revêtement qui devra être posé dans l'embrasure plus profonde.
- Construire l'ossature de façon à assurer le support de fixation nécessaire aux plinthes, boiseries et prolongement du chambranle des fenêtres, prises de courant, interrupteurs, etc.

Isolant

- Poser l'isolant de manière à limiter la circulation d'air dans la cavité. Éviter de comprimer inutilement l'isolant.
- Lorsqu'il est impossible d'assurer la continuité du pare-air (par exemple, au niveau des espaces entre les solives, de la sablière des cloisons, etc.), employer de l'isolant rigide à faible perméance.

Pare-air et pare-vapeur

- Rendre l'enveloppe du bâtiment étanche, à l'aide de matériaux en panneaux rigides ou en feuilles.
- Appliquer un ruban adhésif, une garniture d'étanchéité ou une pâte de calfeutrage à tous les joints et raccords du matériau pour limiter la circulation d'air.
- À l'aide de ruban adhésif et(ou) de pâte de calfeutrage, étancher le pourtour de toute ouverture pratiquée dans le pare-air principal.
- Fixer le pare-air principal de façon étanche aux cadres de fenêtres et de portes.
- Superposer les joints du pare-air de polyéthylène à un support solide et les y fixer à serre au moyen de tasseaux ou de panneaux de revêtement mural.

Revêtement de finition intérieure

- Découper au préalable les panneaux muraux pour les adapter aux prises de courant et aux interrupteurs.
- Marquer les panneaux muraux de façon à aligner les attaches sur les poteaux ou sur le fond de clouage.
- Clouer les plinthes et les boiseries directement aux poteaux ou aux cales.
- Enlever les prises de courant et les interrupteurs ou les dégager pour les amener à la surface du nouveau mur intérieur. Il peut être nécessaire de refaire le câblage.
- Mettre les prises de courant et les interrupteurs des murs extérieurs dans des boîtiers étanches, fixés aux poteaux.
- À l'aide de ruban adhésif et de produits d'étanchéité, étancher le pourtour des ouvertures pratiquées dans le pare-air.

Plomberie

- Ramener les canalisations de plomberie situées dans les murs extérieurs plus près de l'intérieur chauffé.
- Étancher les colonnes de plomberie passant dans l'entretoit à l'aide d'une garniture de butyle ou d'un collier souple.

5.2.4 Supervision des travaux

L'entrepreneur souhaitera sans doute passer plus de temps avec ses ouvriers, jusqu'à ce qu'ils se soient familiarisés avec les nouveaux concepts et procédés utilisés en réfection. La "nouveauté" principale de la réfection complète tient au fait qu'on essaie de rendre l'habitation très étanche. Qu'on se serve de polyéthylène ou d'un matériau de construction comme pare-air principal, celui-ci doit être continu et exempt de perforations accidentelles pour donner un bon rendement. Le contremaître devra s'efforcer de repérer toutes les sources possibles de fuites d'air (déchirures, ruptures, joints mal étanchés, etc.), avant qu'on ne les recouvre.

Certains entrepreneurs emploient une technique de vérification de l'étanchéité, qui se répand de plus en plus dans le secteur de la construction d'habitations. Pour effectuer un essai de dépressurisation, il faut installer un puissant ventilateur aspirant dans une ouverture de la maison, habituellement une porte. Ce ventilateur crée une dépression marquée (- 50 Pa), qui fait fuir l'air dans la structure par les fissures et ouvertures de l'enveloppe. L'essai peut coûter de 100 $ à 150 $ et peut donc ne pas être justifié dans chaque cas. Il peut toutefois s'avérer un moyen utile de démontrer l'importance de bonnes techniques d'installation du pare-air aux ouvriers du chantier. Il permet de repérer les défauts de conception et d'installation du pare-air et d'améliorer les techniques de pose. Ce peut aussi être un instrument utile pour l'entrepreneur qui désire former ses sous-traitants en électricité, en plomberie et en construction à mur sec. Enfin, il procure d'excellents arguments de vente au cours des discussions avec le propriétaire.

Enchaînement des travaux des corps de métier

Étant donné que l'ordre d'intervention des corps de métier peut être modifié, il faut établir un bon programme afin d'éviter les rappels coûteux, le temps perdu et le doublement des efforts. L'entrepreneur a intérêt à prendre en compte les réactions de son personnel et des sous-traitants aux difficultés posées par le calendrier d'exécution. La plupart des professionnels n'hésitent pas à faire partager leurs points de vue.

Voici quelques-uns des problèmes les plus courants d'une réfection majeure :

- Les électriciens peuvent devoir apporter des modifications préliminaires à l'installation électrique de la maison. Ainsi, ils peuvent devoir déplacer temporairement le poteau de branchement d'abonné afin de permettre la mise en place de la nouvelle ossature.
- Le transfert des boîtiers électriques à la nouvelle ossature intérieure peut perturber le cours normal des travaux. On peut devoir rebrocher les prises de courant existantes pour les amener à la surface des nouveaux murs.
- Dans le cas d'une réfection par l'extérieur, l'isolation thermique dépend beaucoup du temps.
- La pose du polyéthylène à l'extérieur peut se faire plusieurs jours, ou même plusieurs semaines, avant qu'on referme les cavités où il est installé et le polyéthylène peut être détérioré par les ultraviolets.

5.2.5 Établissement du coût des travaux

L'entrepreneur expérimenté sait que la réfection complète ne représente qu'une faible partie du coût global des rénovations intérieures ou extérieures entreprises. De fait, seuls quelques aspects de la réfection sont moins bien connus.

Il n'est nullement question ici d'assortir un coût précis à l'exécution d'un travail. Les frais d'exécution, tant les frais de matériaux que ceux de la main-d'oeuvre, varient selon l'endroit, l'offre et les pratiques régionales. Chaque entrepreneur devra déterminer le coût des travaux en fonction du coût local des matériaux et de la main-d'oeuvre.

L'entrepreneur qui a moins d'expérience en rénovation trouvera ci-après une liste des facteurs susceptibles de se refléter sur le coût des travaux, à l'intérieur comme à l'extérieur.

Au moment de dresser le devis d'une réfection par l'extérieur, il faudra prendre en considération les éléments suivants :

- exécution des réparations structurales nécessaires;
- déplacement du branchement d'abonné;
- déplacement ou contournement des canalisations et compteur de gaz, câble téléphonique, ligne d'abonné de la câblodistribution, robinets extérieurs, etc.;
- déplacement des appareils d'éclairage et prises de courant extérieurs, etc.;
- préparation des murs pour la pose du pare-air;
- fourniture et mise en place du pare-air et des produits d'étanchéité;
- main-d'oeuvre et matériaux nécessaires à la construction de l'ossature murale ou des poteaux composés ajourés, à la pose d'isolant et au prolongement des cadres de fenêtres;
- main-d'oeuvre et matériaux nécessaires à la pose du revêtement intermédiaire mural ou d'un pare-intempéries;
- main-d'oeuvre et matériaux nécessaires à la pose du nouveau revêtement extérieur et des solins et
- nettoyage du chantier.

Le coût de la réfection par l'intérieur comprendra notamment les travaux suivants :

- exécution des réparations structurales nécessaires;
- déplacement ou modernisation des canalisations de plomberie et de l'installation électrique;
- le cas échéant, démolition et enlèvement des gravats;
- main-d'oeuvre et matériaux nécessaires à la construction de l'ossature murale ou à la pose d'un fond de clouage, de l'isolant et du pare-air;
- main-d'oeuvre et matériaux nécessaires au prolongement des seuils et chambranles de fenêtres;
- pose d'un pare-air autour des boîtiers électriques;
- réparation des murs existants (plâtrage, peinture) et
- matériaux de finition et main-d'oeuvre (plinthes, boiseries, peinture, etc.).

5.2.6 Hygiène et sécurité

La réfection présente divers risques pour la santé et la sécurité de l'entrepreneur ou des ouvriers et du propriétaire ou des occupants de l'habitation.

L'utilisation des bonnes techniques peut diminuer ces risques. Ainsi, on peut éviter bien des accidents en prenant les précautions suivantes :

- emploi de l'équipement de sécurité approprié : casques, lunettes de protection, gants, vêtements et masques, par exemple;
- emploi de l'équipement qui convient : échelles ou échafaudages aux endroits où cela s'impose;
- entretien du matériel, tels les outils électriques, pour les garder en bon état et s'assurer que leur mise à la terre est adéquate;
- respect des mesures de sécurité indiquées lorsqu'on travaille à proximité d'équipement électrique ou mécanique;
- maintien d'un milieu de travail sûr, grâce à un bon éclairage et à un sol approprié, et
- respect des mesures de prévention des incendies à proximité des matériaux inflammables.

Beaucoup d'excellents matériaux de construction sont susceptibles de nuire à la santé des travailleurs et des occupants, lorsqu'on ne prend pas les précautions voulues. Il faut toujours prendre connaissance des indications détaillées données par le fabricant. Les fiches synoptiques accompagnant les produits donnent habituellement plus de détails sur les dangers possibles et les précautions requises que l'étiquette apposée sur le produit. Pour plus de renseignements sur les propriétés des produits d'étanchéité et les dangers qu'ils peuvent présenter, se reporter au manuel intitulé *Étanchéisation des maisons aux fins de l'économie d'énergie*. Par ailleurs, la

publication intitulée *Isolation thermique des maisons pour la conservation de l'énergie (51-GP-42-MP)*, donne un aperçu des questions d'hygiène et de sécurité assorties à la réfection de l'isolement thermique, ainsi qu'une description des dangers que peuvent présenter les matériaux isolants. En bref, l'entrepreneur devrait se rappeler que:

- des gaz et substances délétères émanent des matériaux;
- divers produits peuvent causer une irritation de la peau, du système respiratoire, etc. et
- l'exposition prolongée à certains produits comporte des risques.

Une réfection poussée engendre des conditions de travail qu'on trouve rarement sur un chantier de construction.

- Lorsqu'on isole et étanche le sous-sol par l'extérieur, il faut creuser une tranchée le long des fondations. La paroi de cette tranchée doit être étayée et les déblais placés assez loin du bord de la tranchée pour éviter les éboulements.
- Il faut vérifier la stabilité des murs de fondation avant d'entreprendre la réfection du sous-sol par l'extérieur et prendre les mesures qui s'imposent (étayage, par exemple), pour en assurer la stabilité pendant l'excavation.
- Il est recommandé d'employer des échafaudages pour les travaux de réfection des murs par l'extérieur. C'est plus sûr que d'employer des échelles et cela facilite l'accès aux murs, fait économiser du temps et évite d'endommager les murs.
- Il faut également employer des échafaudages adéquats lorsqu'on travaille sur le toit. La réfection par l'extérieur exige très souvent la pose d'une feuille de polyéthylène par-dessus la couverture existante. On peut s'assurer une bonne surface de marche, en plaçant par-dessus le polyéthylène de larges bandes de contreplaqué qu'on fixera à l'ossature à travers la couverture. Lorsque le toit a une forte pente, mieux vaut employer des échafaudages.
- Mis à part les dangers que présentent les nouveaux matériaux, la réfection par l'intérieur peut exposer travailleurs et occupants à des substances nocives émanant de vieux matériaux qu'on enlève. Ce peut être le cas, par exemple, lorsqu'on enlève l'isolant d'amiante enveloppant de vieilles canalisations d'eau chaude. La poussière de plâtre et de peinture au plomb peut aussi être dommageable. L'entrepreneur doit être conscient des dangers que peuvent présenter ces travaux et garder à portée de la main l'équipement de sécurité nécessaire.

RÉFECTION DES FONDATIONS

Les pertes de chaleur par le sous sol représentent jusqu'à 30 % (et parfois plus) de la facture de chauffage de la maison canadienne moyenne. L'étanchéisation et l'isolation thermique des murs du sous-sol sont donc d'importance cruciale pour augmenter le rendement de la maison.

Non seulement les travaux de réfection effectués au-dessous du niveau du sol améliorent-ils le rendement énergétique de la maison, mais, lorsqu'ils sont bien exécutés, ils transforment aussi un endroit humide, froid et souvent nauséabond en un espace de séjour confortable.

L'entrepreneur trouvera aux pages qui suivent un aperçu des travaux de réfection du sous-sol qui sont possibles selon le type et l'état des fondations. On lui indiquera également quelles techniques se prêtent le mieux à des travaux intérieurs ou extérieurs et dans quelles conditions.

6.1 PRINCIPES DU BÂTIMENT

Comme les autres parties de la maison, le sous-sol perd de la chaleur par conduction, convection (fuites d'air) et rayonnement. La réfection complète permet d'éliminer les pertes par conduction à travers les murs, grâce à l'addition d'isolant. Elle devrait aussi permettre d'éliminer un grand nombre de fuites d'air, notamment au niveau :

- des fissures du béton et de la maçonnerie;
- des branchements et sorties de l'infrastructure (électricité, amenée de combustible, évents et prises d'air);
- des cadres de fenêtres et
- de la lisse basse et des solives du plancher de rez-de-chaussée.

La décision d'exécuter la réfection par l'intérieur ou par l'extérieur et le choix des techniques employées tient à plusieurs considérations que voici :

- type de fondations,
- type de sol et conditions de gel,
- accessibilité,
- propagation de l'humidité et
- écoulement de l'eau autour des fondations.

Type de fondations

Les murs de sous-sol de construction plus ancienne sont faits de moellons ou de briques et ne comportent habituellement aucun hydrofuge. Ils sont plus sujets à l'humidité. Qu'on exécute la réfection par l'intérieur ou par l'extérieur, l'humidité continuera de pénétrer dans les murs, au niveau de la semelle, et de monter par capillarité (figure 6.1).

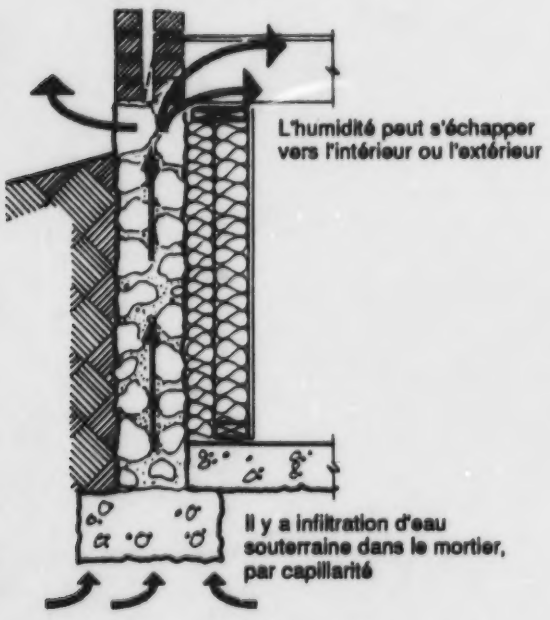


Fig. 6.1 Propagation de l'humidité dans les fondations de construction plus ancienne

Pour éviter que les matériaux ne soient endommagés, il faut donc ménager une voie d'échappement de l'humidité au haut du mur. Dans le cas d'un sous-sol ou d'un vide sanitaire au sol de terre battue, il faut aussi prendre d'autres mesures de protection contre l'humidité.

Type de sol et conditions de gel

Les sols pulvérulents, tels l'argile ou le limon, sont sujets au soulèvement dû au gel lorsqu'ils sont engorgés d'eau. Une diminution des pertes de chaleur par les murs de fondation peut abaisser la température du sol, faire pénétrer le gel plus profondément et, donc, accroître les possibilités de soulèvement dû au gel. Toutefois, on ne rapporte au Canada à peu près aucun cas d'endommagement des fondations à la suite de leur isolation thermique. La réfection par l'extérieur assure une meilleure protection aux murs et permet de remplacer le sol adjacent aux fondations par un remblai granulaire qui n'est pas aussi

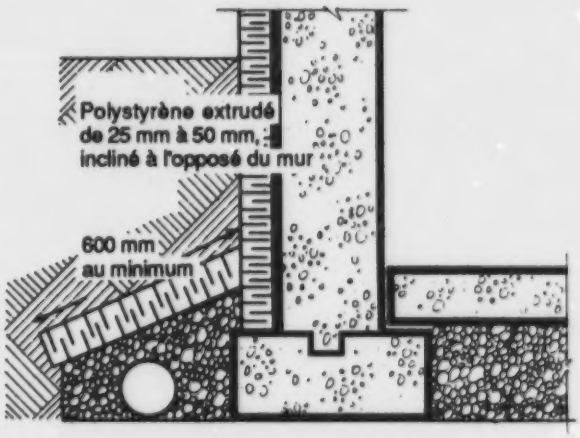


Fig. 6.2 Isolation de la semelle située en deçà de la portée d'action du gel

sensible à l'action du gel. Lorsque la semelle est peu profonde, on peut la protéger de l'action du gel en posant une bande d'isolant horizontale sur son pourtour (figure 6.2).

Accessibilité

L'accessibilité des murs de fondation peut avoir une influence décisive sur le choix du mode d'isolation. Dans les villes, les faibles marges de recul, les perrons, les allées, etc. peuvent poser des problèmes d'excavation. Par contre, avant d'entreprendre la réfection par l'intérieur, il faut songer aux canalisations, aux conduites, aux installations électriques et à l'équipement de buanderie, qu'on pourra devoir contourner ou déplacer à grand frais.

Propagation de l'humidité

L'humidité passe facilement du sol environnant à certains matériaux de fondation (mortier des murs de maçonnerie ou des fondations de moellons ou de briques par exemple - figure 6.3). Quand on entreprend la réfection par l'intérieur, il faut donc protéger les matériaux isolants contre l'humidité qui pénètre dans le mur, en appliquant un hydrofuge au mur entre la semelle et le niveau du sol. La réfection par l'extérieur, si elle comporte la pose d'un hydrofuge, empêche bien l'infiltration d'humidité dans les murs.

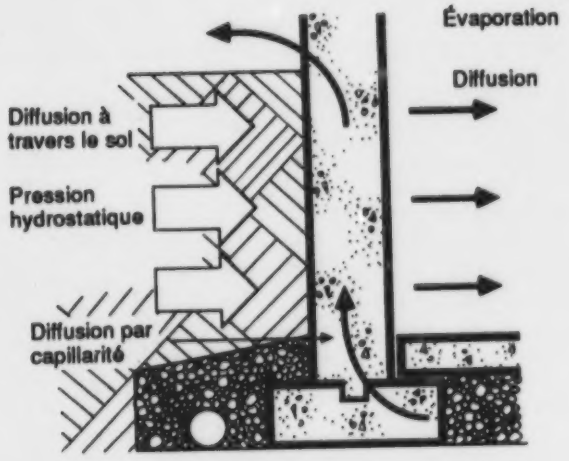


Fig. 6.3 Propagation de l'humidité

Écoulement de l'eau

La réfection par l'extérieur est la solution qui convient, quand l'eau pénètre dans le sous-sol par les murs. En même temps qu'on améliorera le rendement énergétique, on pourra ainsi bloquer certaines voies d'infiltration par:

- l'application d'une membrane hydrofuge (enduit bitumineux ou feuille de polyéthylène) à la face extérieure du mur (figure 6.4);
- l'installation d'un drain à la semelle et d'isolant à couche drainante (panneau rigide de fibres de verre), ce qui peut éviter d'avoir à mettre une membrane imperméabilisante, et
- l'aménagement du terrain de façon à écarter l'eau des fondations.

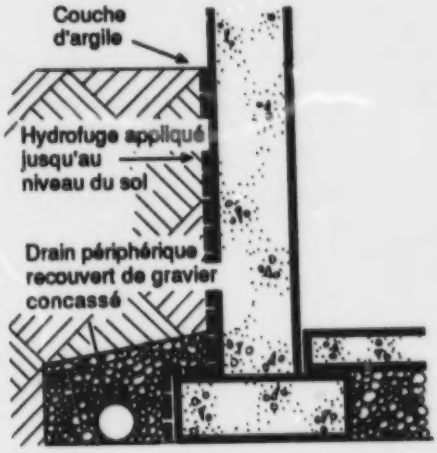


Fig. 6.4 Bon système de drainage

6.2 RÉFECTION DU SOUS-SOL PAR L'EXTÉRIEUR

La réfection du sous-sol par l'extérieur se justifie le plus facilement quand on a déjà entrepris ou prévu des travaux de rénovation ou d'embellissement. Quand il faut mettre un mur à nu pour enrayer un problème d'infiltration d'eau, il est facile et rentable d'ajouter de l'isolant.

On trouvera ci-après un synopsis des diverses techniques d'isolation thermique par l'extérieur et des points de conception et d'exécution à prendre en considération. Le manuel intitulé *Isolation thermique du sous-sol, du vide sanitaire et de la dalle sur le sol*, mentionné en annexe B, reprend le sujet plus à fond. La planification des travaux doit tenir compte des aspects suivants :

- préparation du site,
- choix d'isolants,
- mode de fixation,
- protection de l'isolant hors terre,
- supervision et
- établissement du coût des travaux.

6.2.1 *Préparation du site*

Le creusage le long des murs de fondation se fait à l'aide d'une pelle rétro ou à la main, selon l'espace dont on dispose. Il faut prendre des précautions pour protéger la surface ou le gazon environnant; en déposant les déblais sur une bâche, on facilitera le nettoyage à la fin des travaux.

Avant de commencer à creuser, s'assurer de repérer et de marquer toutes les installations d'infrastructure (eau, égouts, électricité, gaz, mazout, câble téléphonique, etc.).

Il faudrait d'ailleurs profiter de l'occasion pour installer un drain à la semelle, lorsqu'il n'y en a pas ou que le drain en place est endommagé.

Si les fondations fuient, appliquer du crépi ou un matériau hydrofuge avant d'isoler. On peut aussi, si on préfère, recouvrir le mur d'un isolant à couche drainante ou d'une feuille de polyéthylène de 0,15 mm d'épaisseur, qu'on fixera de façon étanche au haut du mur.

6.2.2 *Choix d'isolants*

Les principaux matériaux convenant à l'isolation des fondations par l'extérieur, sont les panneaux rigides de polystyrène, de polyisocyanurate, de polyuréthane, de fibres de verre ou de fibres minérales. Les avantages et inconvénients de ces matériaux sont exposés en 5.1.2 ci-dessus.

6.2.3 *Mode de fixation*

Il y a différents matériaux et systèmes de fixation des isolants rigides à la maçonnerie. Bien que la pression exercée par le sol suffit habituellement à maintenir en place l'isolant posé sous terre, il faut employer des attaches mécaniques pour fixer l'isolant et son revêtement protecteur au-dessus du niveau du sol. Tout dépendant de l'épaisseur d'isolant installée, on emploiera des attaches de 75 mm à 125 mm de longueur. Celles-ci peuvent être ancrées à la maçonnerie dans des trous forés au préalable ou enfoncées à l'aide d'un pistolet tamponneur. Les clous et les boulons sont insérés dans des rondelles ou des profilés qui maintiennent l'isolant et son revêtement protecteur en place. Il convient de consulter la fiche synoptique du fabricant pour savoir à quelle profondeur et à quels intervalles enfoncer les attaches.

6.2.4 *Protection de l'isolant hors terre*

Au-dessus du niveau du sol, les fondations isolées par l'extérieur doivent être recouvertes d'un matériau qui protégera l'isolant des dommages accidentels et des intempéries. Le choix de ce matériau dépend des goûts du client, du coût à l'installation et de considérations de durabilité. Bien qu'on constate des préférences régionales, les matériaux privilégiés semblent être les suivants:

- crépi sur latte de métal déployé,
- bardage métallique,
- bétons de fibres et enduits brevetés ou
- contreplaqué traité.

Le revêtement protecteur doit se prolonger jusqu'à 300 mm au moins, sous terre.

Il faut empêcher la pluie, la glace et la neige de s'infiltrer entre l'isolant et le mur de fondation. Lorsque l'isolant se prolonge au-dessus du niveau du sol, il faut poser un solin de plastique, de bois traité ou de métal peint en usine et calfeutrer le joint du solin et du mur de façon à en écarter l'eau (figures 6.5, 6.6 et 6.7).

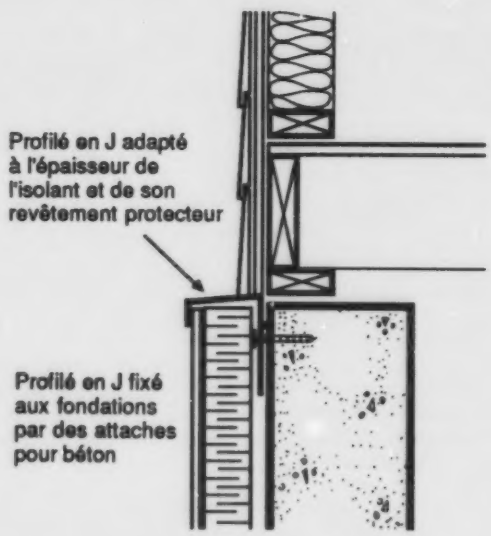


Fig. 6.5 Solin profilé en J

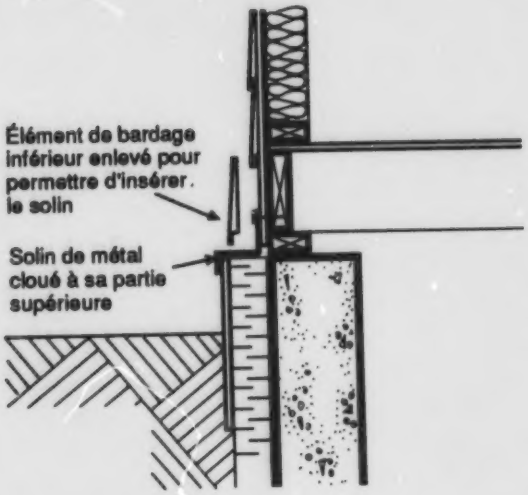


Fig. 6.6 Solin de métal

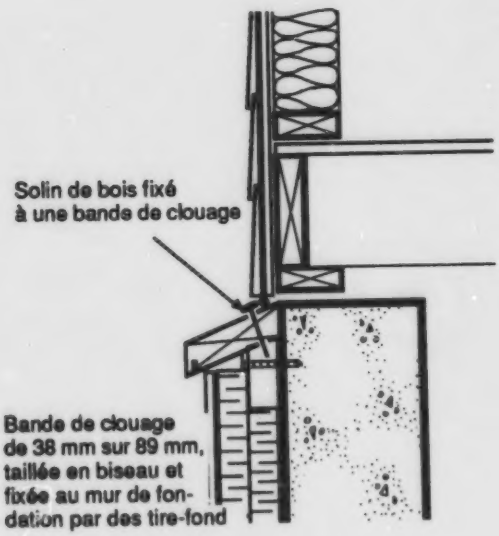


Fig. 6.7 Solin de bois

Il faudra aussi finir les ouvertures pratiquées dans le mur de fondation et y poser un solin. Les embrasures de portes et de fenêtres devront être finies de manière à favoriser le drainage et diminuer l'effet des intempéries (figure 6.8).

Lorsqu'une fenêtre du sous-sol se prolonge sous le niveau du sol (lorsqu'elle est aménagée dans un puits, par exemple), on peut devoir améliorer le drainage à cet endroit.

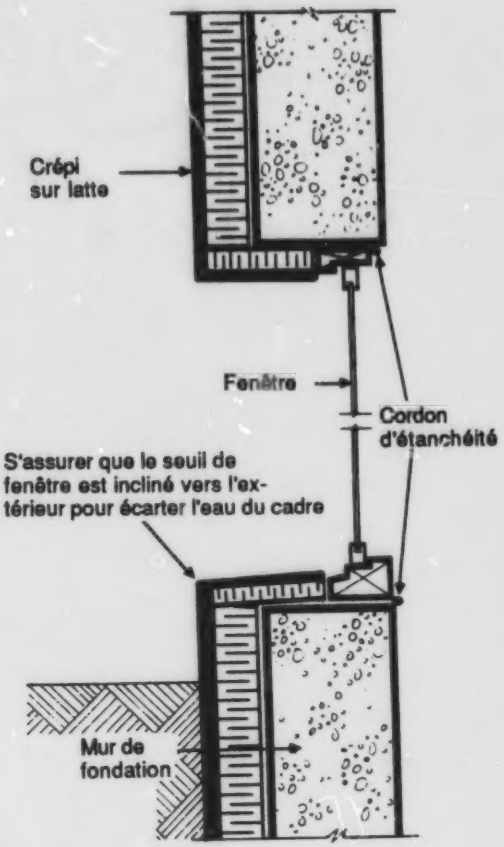


Fig. 6.8 Drainage au niveau des fenêtres

Supervision

La liste de contrôle ci-après aidera le contremaître à s'assurer qu'on a éliminé toutes les sources possibles de problèmes. Elle indique l'essentiel des travaux, mais le contremaître devrait toujours faire une inspection minutieuse avant de signaler le début d'une nouvelle étape.

- Déblais enlevés et entreposés de façon à ne pas causer de dommages.
- Branchements d'infrastructure en bon état et rétablis s'il y a lieu.
- Drain raccordé comme il se doit.
- Ouvertures de l'isolant obturées.
- Cornière installée par-dessus la latte au besoin.
- Attaches mécaniques appropriées utilisées pour fixer les matériaux installés.
- Solins protégeant les matériaux hors terre, fixés de façon étanche.
- Seuils de portes et de fenêtres inclinés comme il se doit.
- Sol fini incliné en direction opposée de la maison.

6.3 RÉFECTION DU SOUS-SOL PAR L'INTÉRIEUR

La réfection par l'intérieur se justifie le plus facilement lorsqu'elle s'intègre à des travaux de rénovation ou d'embellissement en cours. En effet, lorsqu'on rénove le sous-sol, il est facile et rentable de poser de l'isolant. On trouvera ci-après un synopsis des techniques possibles et une indication des points de conception et d'exécution à prendre en considération. Le manuel intitulé *Isolation thermique du sous-sol, du vide sanitaire et de la dalle sur le sol*, mentionné en annexe B, reprend le sujet plus à fond.

La planification des travaux doit tenir compte des aspects suivants :

- préparation du site,
- choix d'hydrofuges,
- choix d'isolants,
- ossature et mode de fixation,
- pare-air,
- lisse basse et solive de bordure ou de rive,
- supervision et
- établissement du coût des travaux.

6.3.1 *Préparation du site*

La réfection du sous-sol par l'intérieur peut exiger beaucoup de préparatifs. Comme on le mentionne en 6.1 ci-dessus, l'entrepreneur devra d'abord évaluer les murs de fondation pour relever toute détérioration et tout signe de problème d'humidité. Il faut aussi, avant tout, remédier aux problèmes majeurs. En règle générale, c'est plus facile à faire de l'extérieur.

Idéalement, le sous-sol où l'on projette des travaux de réfection devrait être vide, ses murs être nus et toutes les canalisations d'infrastructure (électricité, plomberie et CVC) se trouver près du centre du sous-sol. On pourrait alors isoler, sans perdre de temps à déplacer les conduites de chauffage, les canalisations et appareils de plomberie ou les appareils électriques et les prises de courant. Malheureusement, la plupart des sous-sols ressemblent à un parcours d'obstacles. Entre autres choses, l'entrepreneur devra donc voir s'il est avantageux de déplacer :

- les conduites ou canalisations de chauffage,
- le branchement du réseau de gaz ou d'électricité ou l'amenée de mazout,
- les canalisations de plomberie et les appareils sanitaires,
- les réservoirs à mazout et à eau chaude,
- le câblage électrique et les prises de courant,
- les placards et les établis.

Il faudrait poser une membrane hydrofuge sur le mur de fondation existant, surtout lorsqu'on entend employer de l'isolant en nattes ou d'autres matériaux qui absorbent l'humidité. **Cette membrane hydrofuge doit s'étendre du plancher du sous-sol au niveau du sol** (figure 6.9). Elle limitera la diffusion de la vapeur d'eau émanant du mur de fondation. Le polyéthylène est le matériau qu'on utilise le plus souvent à cette fin, bien qu'on emploie parfois du papier de construction ou un isolant en matière plastique (de 25 mm d'épaisseur).

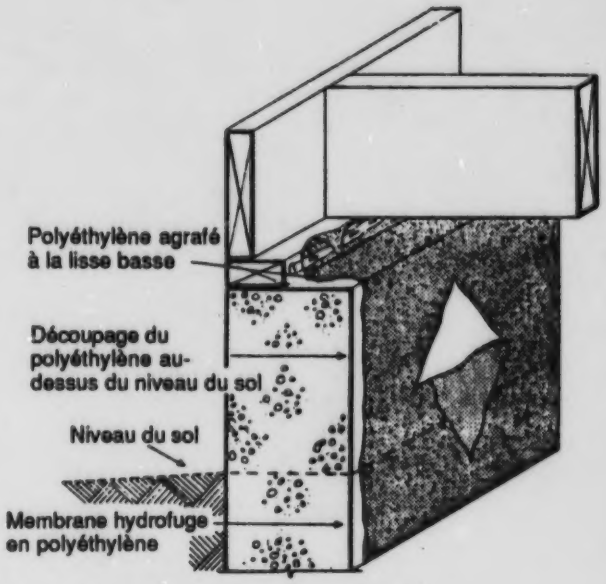


Fig. 6.9 Hydrofugeage jusqu'au niveau du sol

6.3.2 *Choix d'isolants*

On peut se servir d'isolants en panneaux rigides sur la face intérieure des murs de fondation. Ces panneaux sont faits de divers matériaux et supposent différents modes de fixation. On recommande l'emploi de panneaux rigides seulement dans les cas où les murs de fondation sont assez uniformes et d'aplomb pour qu'il soit possible de poser l'isolant virtuellement sans laisser de vides propices aux courants d'air. Les matériaux les plus populaires sont les suivants :

- polystyrène expansé (types I et II),
- polystyrène extrudé (types III et IV),
- polyuréthane ou polyisocyanurate et
- fibre de verre rigide.

Les avantages et inconvénients de chacun de ces matériaux sont indiqués au chapitre 5.

Les nattes isolantes, quelles soient faites de fibres de verre ou de laine minérale, permettent une isolation thermique efficace à peu de frais. On les met en place de différentes façons; mais, le plus souvent, on construira une nouvelle ossature qui soutiendra l'isolant et servira à fixer le revêtement mural. L'isolant en nattes s'installe en une seule couche ou en deux couches (l'une horizontale et l'autre verticale). La deuxième technique permet de diminuer les ponts thermiques de l'ossature et les courants d'air entre les nattes (figure 6.10).

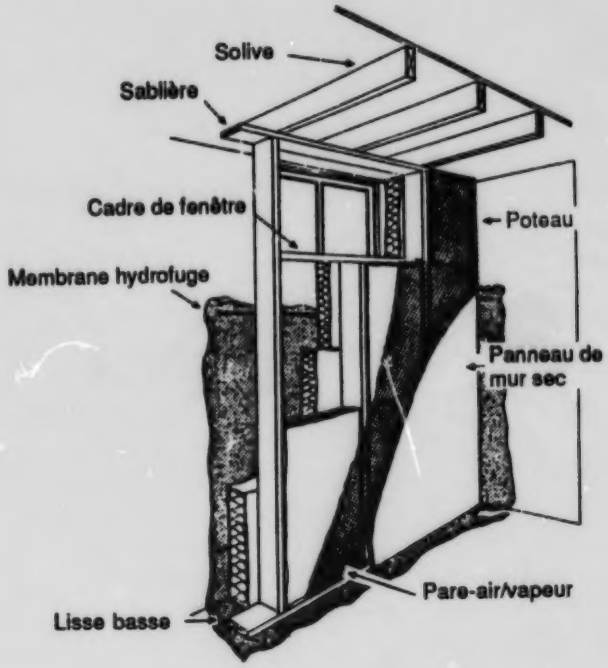


Fig. 6.10 Réfection par l'intérieur

6.3.3 Ossature et mode de fixation

Il existe plusieurs façons de fixer les isolants en panneaux rigides aux murs de fondation. Le choix d'un mode particulier sera fonction du coût et de la disponibilité des accessoires nécessaires et de la facilité d'exécution. Les panneaux rigides peuvent être fixés à l'aide de profilés brevetés ou au moyen d'un fond de clouage constitué de poteaux classiques en bois ou en métal.

Comme le montre la figure 6.11, les profilés en vente dans le commerce sont très variés.

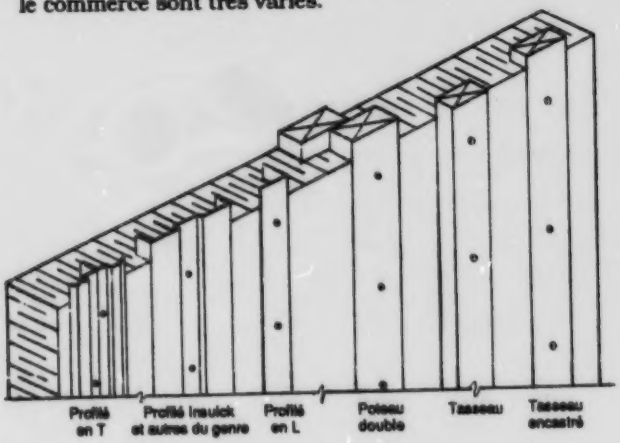


Fig. 6.11 Attaches mécaniques

Ils sont habituellement fixés à la maçonnerie, à 600 mm d'entraxe, à l'aide de clous ou de boulons galvanisés pour béton. Les attaches se posent à l'aide d'un pistolet tamponneur ou sont vissés ou enfoncés, jusqu'à une profondeur minimale de 25 mm, dans des trous forés au préalable.

Le fond de clouage en bois s'emploie de deux manières : on peut insérer l'isolant entre deux fonds de clouage ou poser un fond de clouage par-dessus une couche d'isolant en panneaux rigides. L'un et l'autre procédé simplifie la pose du revêtement mural, car on peut ensuite fixer celui-ci directement au fond de clouage. On peut aussi faciliter l'installation du câblage électrique et des prises de courant en ménageant une niche à l'aide de tasseaux de 38 mm sur 38 mm (figure 6.12).

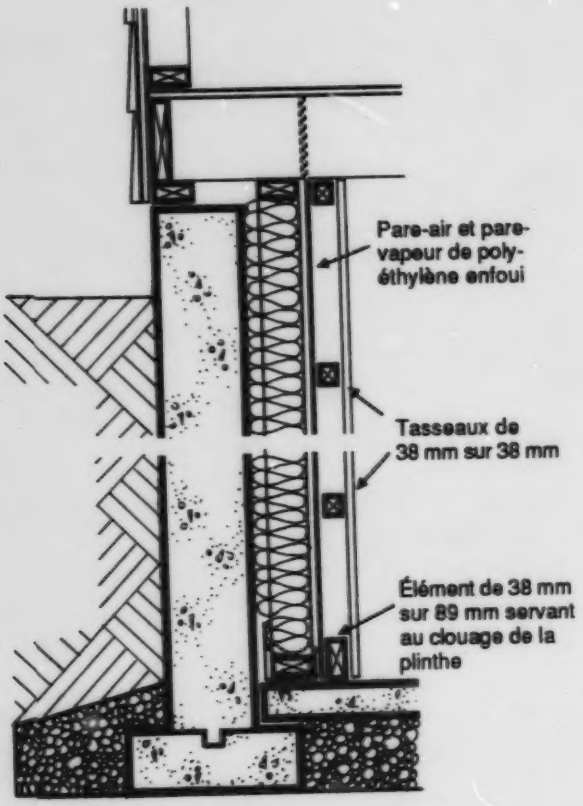


Fig. 6.12 Fond de clouage

La construction de l'ossature des nouveaux murs isolés au sous-sol doit tenir compte des problèmes suivants :

- Tout bois en contact direct avec les fondations de maçonnerie, elles-mêmes en contact avec le sol, doit être traité ou isolé de ces dernières par une couche de polyéthylène ou de polystyrène (figure 6.13). Cette précaution empêchera l'eau de s'infiltrer dans le bois à partir du béton ou de la maçonnerie.

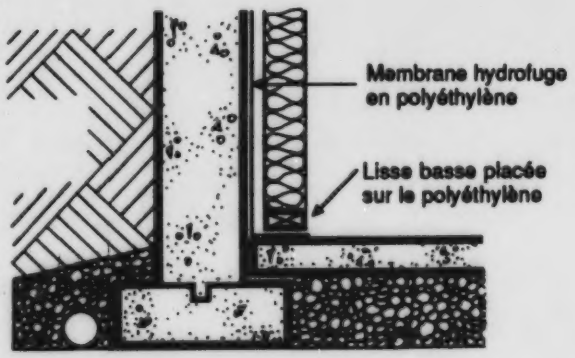


Fig. 6.13 Moyen d'éviter le contact du bois et du béton

- Le bois de construction servant à construire l'ossature peut être de dimensions inférieures à celui qu'on emploie habituellement. Comme le nouveau mur n'est pas porteur, on peut utiliser des poteaux de 38 mm sur 64 mm à 600 mm d'entraxe. On devra toutefois réduire l'entraxe lorsque même une légère flexion des panneaux de mur sec ou du bois est jugée inadmissible.

- La distance séparant la nouvelle ossature du mur existant dépend de l'épaisseur d'isolant posée. L'insertion d'isolant de valeur RSI 3,5 oblige à monter la nouvelle ossature à 140 mm du mur originel pour qu'on puisse superposer des isolants de valeur RSI 2,1 et RSI 1,4 (figure 6.14).

6.3.4 *Pare-air et pare-vapeur*

Il importe de prévoir un bon pare-air et pare-vapeur pour assurer le rendement du mur de fondation nouvellement isolé. Il y a trois façons de procéder :

- installation de polyéthylène continu,
- étanchéisation de panneaux isolants rigides à faible perméance et
- installation d'un matériau de construction servant de pare-air et d'un pare-vapeur distinct.

L'installation de feuilles de polyéthylène, à la manière indiquée au chapiter 5, assure un pare-air et pare-vapeur combiné efficace. Bien exécutée, l'étanchéisation des raccords de la feuille, du pourtour des ouvertures qui y sont pratiquées et des joints du polyéthylène avec les matériaux adjacents assurent une grande étanchéité à l'air. C'est en général la façon la plus simple de fournir un pare-air.

Les panneaux isolants rigides à faible perméance peuvent être étanchés par l'application d'une pâte de calfeutrage ou d'un ruban adhésif vinylisé ou métallisé à leurs joints. Les pâtes de calfeutrage et les rubans employés doivent être compatibles avec le matériau isolant, ce qu'on peut vérifier en consultant la fiche synoptique fournie par le fabricant.

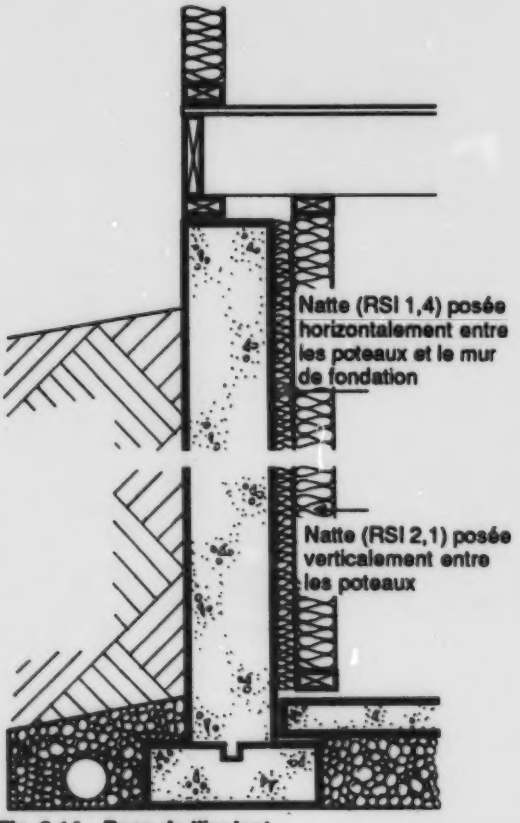


Fig. 6.14 Pose de l'isolant

Divers matériaux de construction peuvent assurer une bonne étanchéité, lorsqu'ils sont constitués en pare-air, à la manière indiquée au chapitre 5. Ces matériaux doivent toutefois être complétés par un pare-vapeur distinct - polyéthylène, peinture pare-vapeur ou feuille métallique, par exemple.

6.3.5 *Lisse basse et solive de bordure ou de rive*

L'installation du pare-air et les techniques d'isolation de l'espace délimité par la lisse basse et les solives du plancher dépendront des matériaux et du procédé de construction des murs de fondation et peuvent supposer la combinaison de plusieurs techniques.

Fondations de béton coulé ou de blocs de béton

Dans le cas de ce genre de fondations, le problème est assez simple.

- On amène l'isolant mural et le pare-air principal jusqu'à la face inférieure des solives, en ménageant un rabat au haut du pare-air. L'espace entre les solives est alors isolé, puis recouvert d'un pare-air et pare-vapeur. Il faut poser un revêtement ignifuge par-dessus certains matériaux.

a) Pour isoler l'espace entre les solives mêmes, on peut dans ce cas employer de l'isolant de fibres de verre emballé dans des sacs de plastique spéciaux, de grandeur adaptée à l'espace normal entre les solives. Il s'agit de mettre les sacs à serre dans l'espace et de les rattacher par un joint étanche au pare-air principal (figure 6.15).

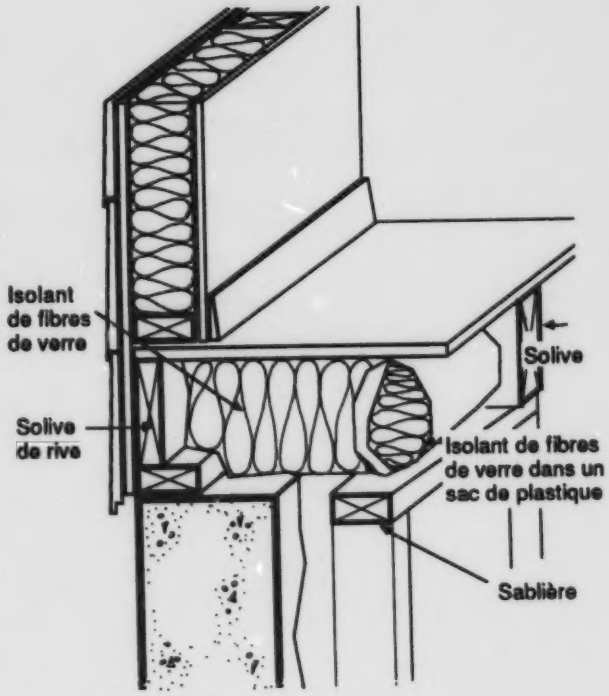


Fig. 6.15 Isolation de l'espace entre les solives

b) On peut mettre entre les solives un isolant rigide ou semi-rigide à faible perméance, taillé pour entrer à serre dans l'espace et étanché par l'application d'une pâte de calfeutrage à son joint avec les solives, la face intérieure du sous-plancher et le rabat du pare-air-vapeur principal (figure 6.16).

c) Enfin, on peut pulvériser de l'uréthane par-dessus des nattes isolantes, de façon à affleurer la sablière du mur, ou l'injecter directement dans l'espace adjacent à la solive de rive ou de bordure.

- Il faut ensuite fixer le rabat du pare-air principal, de façon étanche, aux matériaux posés entre les solives.

Fondations de moellons ou de briques OU fondations aux solives encastrées

Il est préférable d'isoler ces fondations de l'extérieur, car la vapeur d'eau s'infiltrant dans le mur de fondation commencera à se condenser à l'extrémité des solives, si celles-ci sont froides parce que l'isolant est posé à l'intérieur. Dans ce cas, si la vapeur d'eau ne peut s'échapper à l'intérieur, parce qu'on a posé un pare-vapeur, l'humidité montera plus haut dans le mur et s'échappera vers l'extérieur s'il y a des points de fuite. Il pourrait s'ensuivre des dommages au revêtement extérieur.

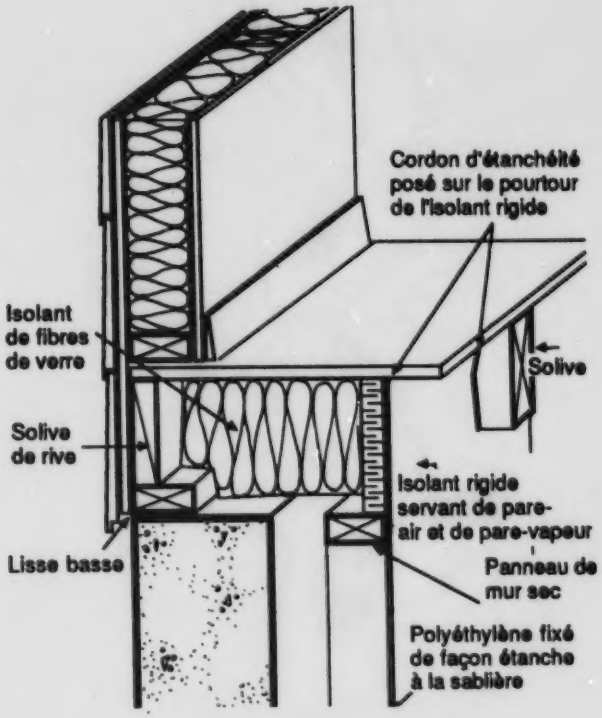


Fig. 6.16 Isolation de l'espace entre les solives

Lorsqu'on exécute la réfection de ce genre de fondations par l'intérieur, il est donc conseillé :

- de laisser l'espace entre les solives sans isolant;
- d'éviter de couper l'extrémité des solives de la zone chauffée, en faisant monter le pare-air-vapeur jusqu'au sous-plancher et
- de s'abstenir de peindre ou de couvrir les solives et la lisse basse.

Il est recommandé de s'efforcer plutôt de diminuer les fuites d'air à cet endroit par l'application d'une pâte de calfeutrage :

- au joint de la lisse basse ou de la maçonnerie et des solives et
- au joint des solives et de la solive de rive (figure 6.17).

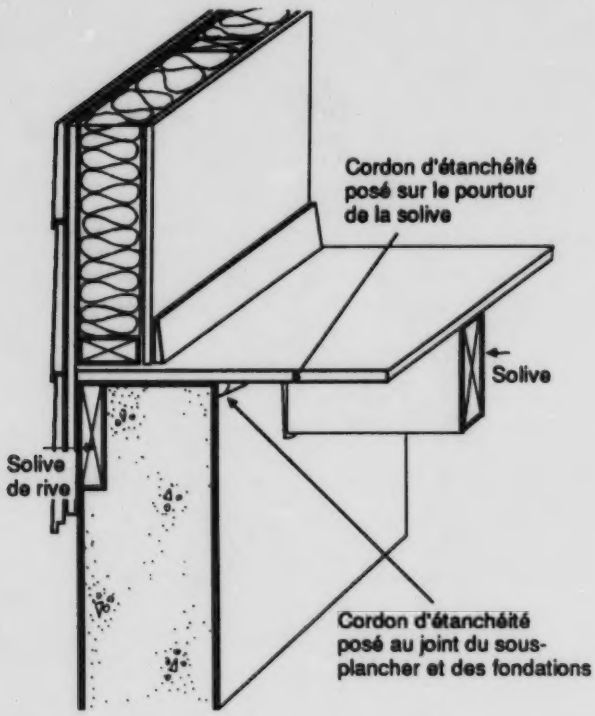


Fig. 6.17 Étanchéisation de l'espace entre les solives

Supervision

La liste de contrôle ci-après aidera le contremaître à s'assurer qu'on a porté toute l'attention voulue aux points qui l'exigent.

- Canalisations d'infrastructure déplacées et raccordées au besoin.
- Membrane hydrofuge installée jusqu'à hauteur du niveau du sol extérieur.
- Éléments de bois sans contact direct avec le béton.
- Vides d'air derrière l'isolant gardés au minimum ou éliminés totalement.
- Bonne étanchéité assurée aux joints et sur le pourtour des ouvertures.

7

RÉFECTION DES MURS DE SUPERSTRUCTURE PAR L'EXTÉRIEUR

On a vu au chapitre 4 en quoi consiste, dans ses grandes lignes, la réfection extérieure de la superstructure. Bien que ces travaux devraient augmenter le confort de la maison et engendrer des économies d'énergie considérables, ils peuvent être limités par des considérations d'esthétique, les exigences de la marge de recul et des coûts assez élevés. La réfection par l'extérieur se justifie le plus facilement lorsqu'elle s'intègre à d'autres travaux extérieurs prévus, tel le renouvellement du bardage. L'entrepreneur devrait examiner avec le propriétaire les avantages et inconvénients de ce mode de réfection, tels qu'ils sont exposés au chapitre 4.

7.1 PRINCIPES DE CONCEPTION ET D'EXÉCUTION

La présente section expose les problèmes de conception et d'exécution de la réfection des murs de superstructure par l'extérieur. On trouvera en 7.2 une description détaillée des techniques et considérations pertinentes pour cinq modes précis de réfection par l'extérieur. Ces modes de réfection ont tous leurs avantages et leurs inconvénients, mais ils ont aussi plusieurs aspects communs. Ainsi, bien que les techniques d'exécution de l'ossature ou du fond de clouage varieront selon l'entrepreneur, elles supposent toutes certaines tâches essentielles.

Comme le montre la figure 7.1, les principales étapes d'une bonne réfection par l'extérieur sont les suivantes :

- préparation du mur,
- pose d'un pare-air et pare-vapeur,
- exécution de l'ossature ou du fond de clouage,
- isolation du nouveau mur et
- pose du revêtement intermédiaire et du bardage.

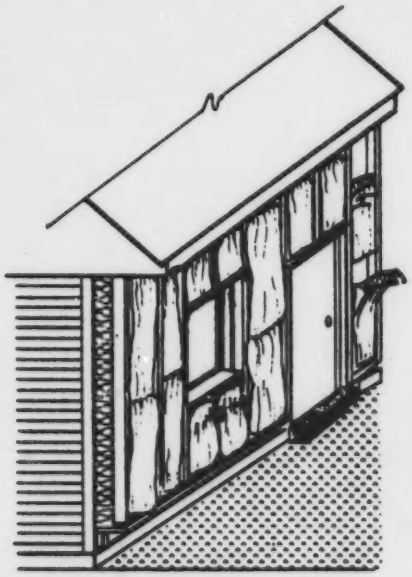


Fig. 7.1 Réfection par l'extérieur

Les alinéas qui suivent esquissent la conception et l'exécution de ces étapes, à la lumière des principes et théories avancés au chapitre 2.

7.1.1 *Préparation du mur*

- Inspecter le mur pour déterminer le travail nécessaire. Est-il accessible? Y a-t-il suffisamment d'espace pour travailler ou dresser les échafaudages nécessaires? Y a-t-il des arbustes ou des plants de fleurs auxquels le client tient et qu'il faudra déménager?

- Considérer toutes les ouvertures et tous les obstacles que comporte le mur. On peut devoir enlever les éléments qui font obstacle et les replacer par la suite sur le nouveau mur. Ce peut être le cas, notamment, des descentes pluviales, des robinets, des appareils d'éclairage, des prises de courant et des sorties des ventilateurs de cuisine, de salle de bains et de sécheuse. Les raccords de certains de ces éléments devront aussi être allongés. **Lorsqu'il faut bouger le poteau du branchement électrique, le compteur d'électricité, les canalisations ou le compteur de gaz naturel pour permettre l'installation du nouveau mur, toujours faire appel à un homme de métier agréé.**

- Évaluer l'état du bardage. S'il est possible de le réutiliser, de quelque façon que ce soit, prendre les précautions voulues au moment de l'enlever. Lorsqu'on prévoit de reposer le même bardage, ne pas oublier que le nouveau mur sera plus long que le mur existant et qu'il faudra plus de matériaux. L'emploi d'éléments corniers plus larges peut résoudre une partie du problème. Il faut enlever le bardage existant, s'il est pourri ou très endommagé.

- Dans beaucoup de maisons de construction plus ancienne, la pourriture des poteaux et des poutres cause de graves problèmes structuraux. Lorsqu'on soupçonne que c'est le cas, enlever une section du bardage pour déterminer l'état de l'ossature. L'endroit le plus logique pour effectuer cette vérification est le mur contigu à la cuisine ou à la salle de bains, où le niveau d'humidité risque d'être élevé. Remédier à tout problème constaté, car le nouveau mur ajoutera à la charge de la maison.

- Examiner tout élément qui risque de percer ou de déchirer le pare-air-vapeur de polyéthylène. Par exemple, on peut devoir d'abord enlever le stucco rugueux ou, ce qui est plus pratique, le couvrir de papier de construction. Il faut aussi arrondir les arêtes vives.

- Il faut bien penser la conception du nouveau mur. S'assurer qu'il y a une surface plane à laquelle fixer la nouvelle ossature - c'est-à-dire à laquelle fixer une lisse pour le haut et le bas de l'ossature, ainsi qu'un appui intermédiaire lorsque celle-ci se prolonge sur plus d'un étage (figure 7.2).

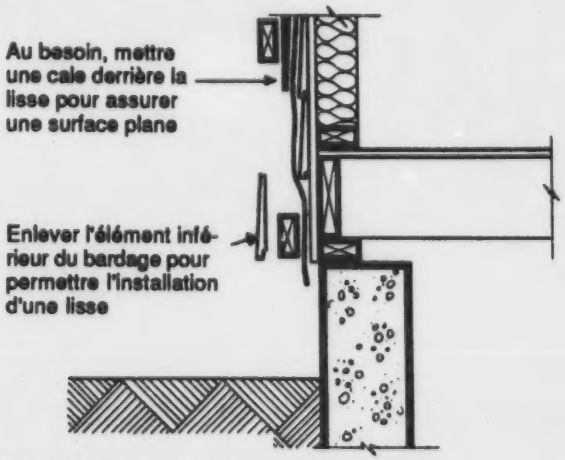


Fig. 7.2 Aménagement d'une surface plane

7.1.2 Pose d'un pare-air et pare-vapeur

- Il doit y avoir un pare-air continu enveloppant tout le bâtiment, il faut étancher tous les joints et les bords du pare-air, de même que le pourtour des ouvertures qui y sont pratiquées. Dans la mesure du possible, faire courir le pare-air de la sablière qui se trouve à la base du toit jusque dessous les solives du plancher de rez-de-chaussée et la lisse basse et le fixer de façon étanche aux fondations. Idéalement, le pare-air devrait se poursuivre jusqu'à la semelle et les fondations faire elles aussi l'objet de la réfection par l'extérieur.

- Se servir de polyéthylène ou d'oléfine non tissée (Tyvek) comme pare-air. En règle générale, le polyéthylène est moins coûteux. Au moment de placer le polyéthylène, s'assurer de respecter la règle 1/3 - 2/3 exposée en 7.1.3 ci-dessous.

- Employer des feuilles de la plus grande dimension possible, afin de diminuer le nombre de joints à étancher.

- Lorsqu'on emploie un matériau en feuilles, s'assurer que celles-ci se chevauchent d'au moins 150 mm et prendre les joints à serre entre deux surfaces solides. À cette fin, appliquer entre les deux feuilles un cordon continu de produit d'étanchéité qui ne durcit pas, tel un isolant acoustique; presser délicatement la feuille du dessus contre le cordon et l'agrafer à travers celui-ci, à intervalles de 150 mm; **terminer en clouant un élément solide par-dessus le joint.** (Procéder de la même façon pour étancher les bords du pare-air, en appliquant toutefois le produit d'étanchéité entre le bardage originel et le pare-air.) On peut aussi étancher les joints du pare-air au moyen d'un ruban pare-air spécial, mais cette façon de procéder est beaucoup plus coûteuse. Il est essentiel de renforcer les joints du pare-air par un moyen mécanique pour en assurer la durabilité (figure 7.3).

- Assurer un joint étanche autour des installations de ventilation et de plomberie, des canalisations et des appareils et boîtiers électriques qui traversent le pare-air. Ce dernier doit aussi être fixé de façon étanche au chambranle ou au couvre-joint extérieur des portes et des fenêtres. Les techniques pertinentes dans ce cas sont expliquées en détail au chapitre 9.

- Examiner attentivement le polyéthylène, avant de le recouvrir de l'isolant et du bardage. Pour éviter de l'endommager pendant les travaux, s'abstenir d'y appuyer échelles, matériaux et outils. Repérer et réparer toute rupture ou déchirure du polyéthylène et renforcer les joints qui semblent faibles. On peut se servir de ruban adhésif pour obturer les petites perforations, mais il faudrait recouvrir les ouvertures plus importantes d'une pièce de polyéthylène fixée à la feuille initiale par une pâte de calfeutrage ou du ruban adhésif.

- On peut faciliter l'installation en suspendant d'abord le polyéthylène à la sablière.

Les conseils qui suivent faciliteront aussi la tâche de l'entrepreneur.

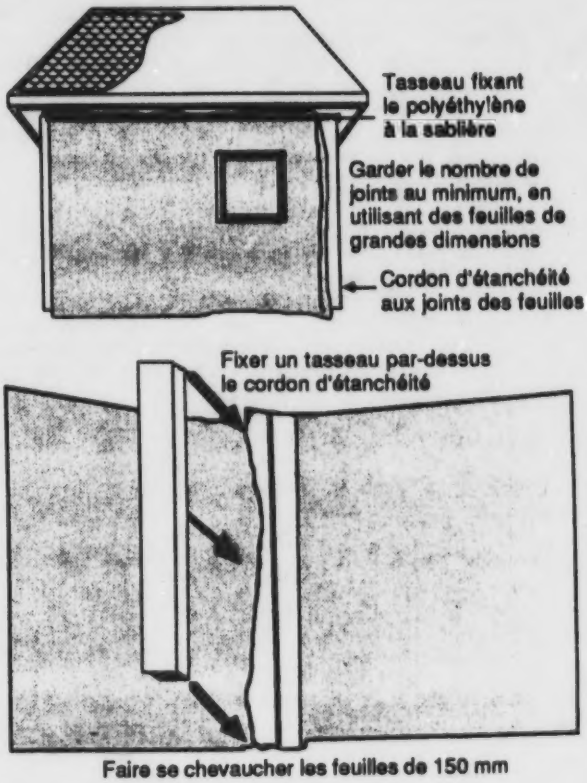


Fig. 7.3 Installation du pare-air

- Ne pas tendre le polyéthylène pendant l'installation. Cela n'améliorerait pas l'étanchéité et on risquerait que les joints lâchent, car le polyéthylène se rétracte au froid.

- Employer le moins d'agrafes possible pour fixer les feuilles. Chaque agrafe inutile affaiblit le pare-air.

- Ne pas bloquer la ventilation de la sous-face et ne pas obstruer les évents et les ouvertures remplissant une fonction utile. Il faut toutefois assurer un joint étanche à ces endroits.

- Toujours laisser un jeu d'environ 150 mm au chevauchement des feuilles.

- Ne jamais laisser le polyéthylène au soleil pendant longtemps. Lorsqu'il est impossible de faire autrement, employer un polyéthylène au noir de carbone ou un polyéthylène à absorbeurs UV. (Voir à ce propos la section relative aux matériaux, au chapitre 5.) Selon certaines techniques, on peut poser le polyéthylène après avoir monté l'ossature, avant d'avoir fini de fixer celle-ci à la maison, ce qui raccourcit le temps d'exposition au soleil.

- Ne jamais procéder à l'installation par grand vent.

7.1.3 Ossature

La réfection par l'extérieur peut supposer l'installation d'une ossature et de nattes isolantes ou la pose de panneaux isolants rigides. Les paragraphes qui suivent se rapportent à la première technique, la seconde étant expliquée en 7.2.5.

En réfection par l'extérieur, la construction d'une ossature ménage l'espace nécessaire à la pose de l'isolant et procure un support auquel fixer le nouveau bardage.

La profondeur de l'espace ménagé dépend des lisses et du type de poteau employés. Le plus souvent, le nouveau mur est monté de façon à permettre l'installation de nattes isolantes de fibres de verre standard. Un espace de 140 mm de profondeur convient à des nattes de valeur RSI 3,5 et un espace de 190 mm de profondeur, à des nattes de valeur RSI 4,9. On peut augmenter ou diminuer l'isolement thermique, dans la mesure où :

- L'ossature est solide.
- L'isolant posé à l'extérieur du nouveau pare-air-vapeur correspond à au moins deux fois la valeur isolante intégrée au mur originel (voir section 2.5.4). Cette règle d'or, dite règle 1/3 - 2/3, vaut à peu près partout au Canada. Dans le Grand Nord (où la consommation est supérieure à 7 000 degrés-jours), il faut placer le pare-vapeur plus près de l'intérieur de la maison. -
- Le mur est conçu de façon à garder les ponts thermiques et la convection au minimum.
- On peut rationaliser l'isolement assuré. - Il n'est pas rentable de mettre trop d'isolant, mais il ne vaut pas la peine d'entreprendre les travaux, si l'on n'en met pas suffisamment.

Le nouveau mur doit pouvoir supporter la charge due au vent et à la neige, ainsi que la charge constante de l'ossature, de l'isolant, du bardage et, dans certains cas, des portes et des fenêtres. Les endroits à surveiller sont la base du mur, la sous-face et le tour des portes et des fenêtres (figure 7.4).

Il y a plusieurs façons d'exécuter la base du mur. Selon certaines techniques, notamment celle des poteaux composés ajourés, on ne met pas de lisse à cet endroit. Toutefois, quelle que soit la technique employée, la fixation mécanique des supports doit être solide. Dans la plupart des cas, mieux vaut employer des tire-fond, vissés à même la charpente - c.-à-d. aux poteaux, aux solives de rive ou de bordure ou à la brique pleine -, mais jamais au bardage, au revêtement intermédiaire ou au placage de brique.

Le mur peut être retenu contre la maison à l'aide de brides de métal galvanisé de grosseur moyenne, fixées soit à la lisse, soit aux poteaux. L'utilisation d'une bride tous les deux poteaux permet de supporter une charge constante de 1 000 kg, ce qui est amplement suffisant pour un mur de deux étages.

Certaines techniques utilisent les extrémités des chevrons comme points de fixation. Dans les cas extrêmes, une charge excessive à cet endroit pourrait faire soulever le toit de la maison (par effet de charnière). Pour éviter que cela ne se produise, il peut déplacer une partie de la

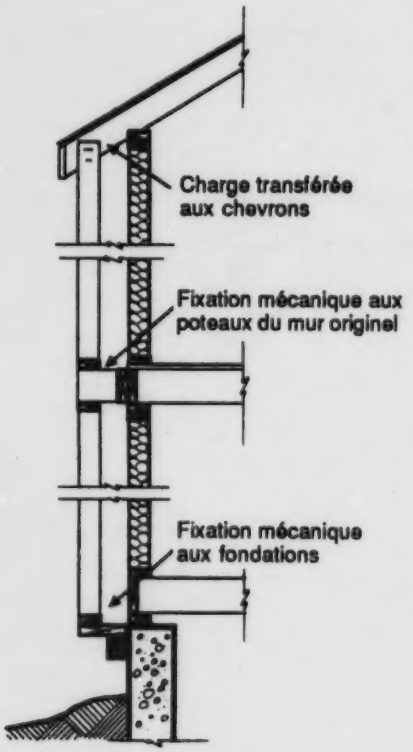


Fig. 7.4 Transfert de la charge à la maison

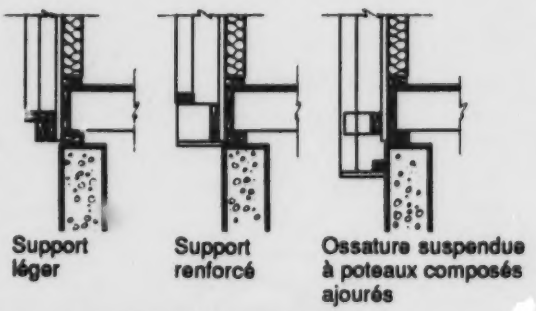


Fig. 7.5 Exécution de la base de mur

charge constante, en la transférant aux poteaux du mur originel ou à la solive de rive ou de bordure (figure 7.5).

Il faut aussi tenir compte de la perte de volume du bois ou, plus précisément, des écarts qui existent à ce plan entre les éléments à fil tranché et les éléments à fil parallèle. À la limite, cela pourrait causer un mouvement différent du mur originel et du mur-rideau nouvellement installé, d'où, possiblement, la déformation des solins et le fissurage de la pâte de calfeutrage appliquée autour des portes et des fenêtres. Dans la plupart des cas, la maison aura toutefois déjà atteint un point d'équilibre et sera stable.

Afin de préserver l'intégrité de la structure, il faut employer du bois de la dimension la plus petite possible et en utiliser le moins possible pour construire le mur-rideau. En général, une lisse de 190 mm peut supporter une ossature faite de poteaux de 38 mm sur 64 mm alignés sur son bord extérieur, à distance du mur originel. Les poteaux peuvent être placés à 600 mm d'entraxe, selon le bardage employé. Si la lisse d'appui est continue, la sablière et la lisse basse peuvent être constituées d'un seul élément continu de 19 mm sur 64 mm. On gardera ainsi la quantité de bois et, par conséquent, les frais de main-d'oeuvre et de matériaux au minimum. Cela peut en outre mener à un meilleur rendement énergétique, puisque, moins il y a de bois, plus il y a d'isolant.

Le dimensionnement des ouvertures brutes de la nouvelle ossature doit permettre l'installation de nouvelles boiseries et préserver l'inclinaison du seuil des portes et des fenêtres.

Traiter le bois de l'ossature qui se trouve à moins de 200 mm du sol ou s'assurer d'employer du bois déjà traité.

7.1.4 *Isolation du nouveau mur*

Mettre l'isolant soigneusement en place, selon les méthodes acceptées. Dans la mesure du possible, poser deux couches d'isolant, la première horizontalement derrière les poteaux et la seconde verticalement entre les poteaux. Faire particulièrement attention aux bords et aux angles, pour éviter les ouvertures favorisant les courants d'air.

Lorsqu'on opte pour un mur à poteaux composés ajourés, on peut placer de l'isolant rigide entre les montants de chaque poteau, avant de mettre des nattes isolantes entre les poteaux; sinon, il faudra employer des nattes plus larges.

Ne pas oublier de faire une dernière inspection du pare-air immédiatement avant de poser l'isolant.

7.1.5 *Pose du revêtement intermédiaire et du bardage*

Une fois l'isolant en place, on peut, selon la technique de revêtement extérieur choisie, recouvrir le mur de papier de revêtement et de bardage, tout comme en temps normal. Par exemple, on peut poser un revêtement intermédiaire si le mur doit être enduit de stucco ou s'il faut assurer une protection supplémentaire contre le gauchissement. Il faut mettre du papier de revêtement dessous le bardage. En mettre deux couches, s'il n'y a pas de panneaux de revêtement intermédiaire. Beaucoup d'entrepreneurs utilisent maintenant de l'oléfine non tissée. Ce matériau assure un pare-air efficace à l'extérieur, tout en laissant passer la vapeur d'eau. Il faut en fixer les joints et les extrémités à l'aide de ruban adhésif. Une seule couche d'oléfine non tissée avec ruban adhésif suffit. Les feuilles d'oléfine se vendent en largeur de 2 700 mm couvrant la hauteur d'un étage.

La pose du bardage se fait de la même façon que dans le bâtiment traditionnel.

- Le bardage horizontal peut être cloué directement aux nouveaux poteaux.
- Le bardage vertical, comme les planches et couvre-joints, oblige à poser un fond de clouage horizontal de 600 mm d'entraxe.
- Le stucco nécessite un revêtement intermédiaire rigide avec latte de métal déployé.
- Le placage de brique est plus difficile à installer sur un mur-rideau, étant donné la charge supplémentaire qu'il occasionne. Il peut obliger à construire des murs de fondation jusqu'à la semelle ou à installer des cornières.

Certains matériaux de bardage risquent de ployer ou de gauchir quand ils sont montés sur des poteaux trop espacés. Les panneaux de fibres durs doivent être installés sur une ossature à entraxe maximal de 400 mm. Le bardage en métal ou en vinyle nécessite un revêtement intermédiaire. Les panneaux de fibres durs et le bardage de vinyle se dilatent et se rétractent : le clouage doit donc permettre un certain mouvement. Pour cela, il faut bien centrer les clous dans les rainures de clouage.

Pour bien poser le bardage, il faut :

- poser le rang ou l'élément de départ d'équerre ou de niveau;
- mettre un solin au-dessus des portes et des fenêtres;
- laisser au moins 200 mm entre le bas de l'élément ou du rang inférieur et le niveau du sol fini;
- employer des attaches résistant à la corrosion et
- enfoncer les attaches jusqu'à 25 mm au moins dans du bois massif.

7.1.6 *Prolongement de l'isolant et du pare-air-vapeur*

Il peut arriver qu'on veuille prolonger l'isolant et le pare-air-vapeur au-delà de la sous-face et jusque dessus le toit ou au-delà de la lisse basse jusqu'à la semelle. Les mêmes principes s'appliquent dans l'un et l'autre cas; les considérations relatives au pare-air-vapeur et à sa mise en place sont aussi les mêmes. Toutefois, le mur de sous-sol en béton coulé peut constituer un pare-air efficace s'il ne comporte pas de fissures.

Prolongement sous terre - La façon de prolonger l'isolant extérieur sur les murs de fondation et jusqu'à la semelle est expliquée en détail au chapitre 6, ainsi que dans le manuel intitulé *Isolation thermique du sous-sol, du vide sanitaire et de la dalle sur le sol*. Pour combiner l'isolation thermique du sous-sol à la réfection extérieure des murs de superstructure, il faut :

- descendre le pare-air et pare-vapeur, sans interruption, au-delà de la lisse inférieure du nouveau mur pour couvrir les murs de fondation en partie ou en totalité;
- poser de l'isolant rigide ou semi-rigide;
- s'assurer que l'isolant couvre, autant que possible, la lisse inférieure du nouveau mur (figure 7.6), pour diminuer les ponts thermiques et veiller à respecter la règle 1/3 - 2/3 de pose du pare-vapeur;
- protéger la section d'isolant se trouvant entre le niveau du sol et la lisse inférieure du mur et
- installer le solin qui convient au joint des matériaux de la superstructure et des fondations (figure 7.6).

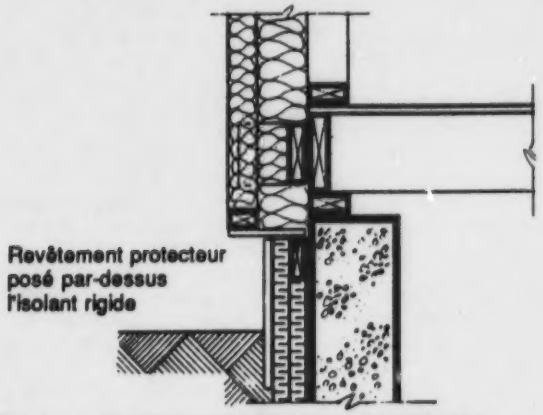


Fig. 7.6 Prolongement des travaux de réfection sous terre

Prolongement jusque dessus le toit - Comme on l'explique au chapitre 10, il arrive qu'on prolonge l'isolant extérieur par-dessus le toit. Pour combiner cette technique à la réfection des murs par l'extérieur, il faut, comme le montre la figure 7.7 :

- prolonger le pare-air-vapeur, sans interruption, au-delà de la sous-face jusqu'au toit (cela peut obliger à raccourcir les chevrons originels);
- prolonger le mur-rideau au-delà des chevrons originels, jusqu'à la base des nouveaux chevrons;
- repenser la fixation du mur-rideau, s'il doit porter la charge constante du nouveau toit;
- veiller à assurer la ventilation du nouveau toit par la sous-face;
- s'assurer que l'isolant posé par-dessus le pare-air-vapeur prolongé représente au moins deux fois la valeur isolante du matériau placé en deçà de celui-ci et
- s'assurer de la solidité du toit originel avant de commencer les travaux.

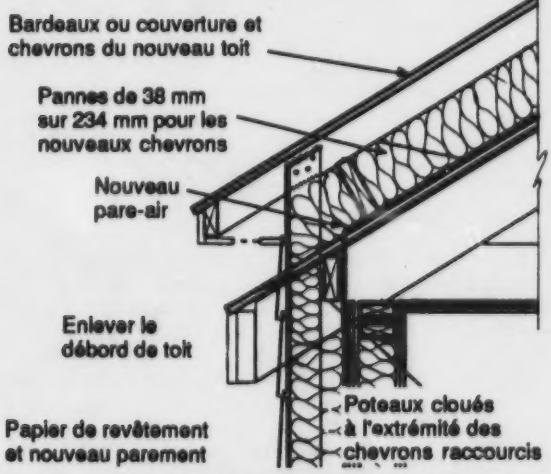


Fig. 7.7 Prolongement des travaux de réfection par-delà le toit

7.2 MÉTHODES D'ISOLATION POSSIBLES

On indique aux chapitres 3 et 4 les critères d'évaluation qui doivent guider l'entrepreneur et le propriétaire au cours de la réfection. Les pages qui suivent donnent le détail de l'exécution des travaux. On y présente les grandes lignes du travail complet, en faisant valoir la méthode de conception et d'exécution recommandée pour la réfection du mur. On donne aussi, le cas échéant, des variantes de la méthode générale.

Sans doute l'entrepreneur modifiera-t-il lui-même les méthodes expliquées ci-après pour rendre compte des matériaux disponibles et des préférences de la main-d'oeuvre dans la région. Il est d'ailleurs encouragé à le faire, dans la mesure où il tient compte des problèmes et considérations élémentaires de la conception d'une bonne enveloppe.

Il est entendu que l'entrepreneur connaît et utilise les principes et méthodes d'une bonne construction. Aucune explication de la pose du revêtement intérieur ou extérieur n'est donc donnée ici. On n'explique pas non plus les techniques élémentaires du bâtiment, telles les différentes méthodes de clouage, les techniques de construction d'ossature, etc. Quiconque n'est pas un professionnel du bâtiment et désire se renseigner à ce sujet trouvera une bonne explication élémentaire des techniques du bâtiment dans le manuel intitulé *Construction de maison à ossature de bois - Canada* de la Société canadienne d'hypothèques et de logement et dans les *Canadian Wood Construction Datafiles* offertes par le Conseil canadien du bois.

Les techniques d'isolation par l'extérieur exposées ci-après sont les suivantes :

7.2.1 Mur-rideau sur support périmétrique
7.2.2 Mur à poteaux composés ajourés, fixé à l'ossature originelle
7.2.3 Ossature sur fond de clouage transversal
7.2.4 Mur-rideau pendu aux extrémités des chevrons
7.2.5 Panneaux isolants rigides

On peut combiner ces techniques pour contourner des problèmes particuliers de la maison.

7.2.1 *Mur-rideau sur support périmétrique (figure 7.8)*

Cette technique de réfection par l'extérieur exige l'addition d'un support, sur le périmètre du bâtiment, après la pose du pare-air-vapeur. Les sections d'ossature murale sont ensuite mises en place sur ce support. La charge représentée par la nouvelle ossature est transférée à la structure de la maison directement par le support complémentaire. La nouvelle ossature est habituellement fixée aux extrémités des chevrons et renforcée à mi-hauteur lorsqu'elle se prolonge sur plus d'un étage.

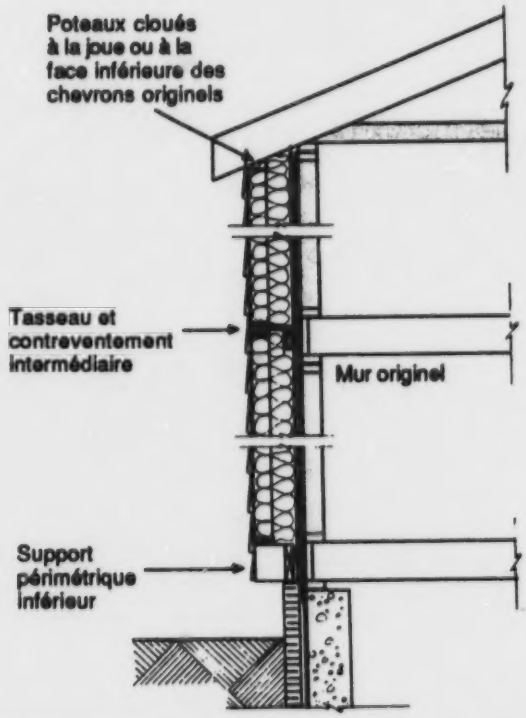


Fig. 7.8 Mur-rideau assis sur un support périmétrique

L'isolant thermique du mur-rideau devrait être posé en deux couches, pour réduire le plus possible la circulation d'air dans le mur. La première couche d'isolant doit être placée horizontalement, derrière les poteaux. La deuxième est mise à serre, verticalement, entre les poteaux. Tout dépendant de la profondeur des cavités, on peut installer de l'isolant de valeur RSI 3,5 à 5,6 ou même davantage.

L'ossature du mur-rideau est fabriquée de bois de 38 mm sur 64 mm ou 89 mm. Elle peut être exécutée selon la technique usuelle de charpente à plate-forme, bien qu'on puisse substituer un élément de 19 mm sur 64 mm au niveau de la sablière et de la lisse basse, lorsque celles-ci ne porteront pas de charge. Les ouvertures des portes et fenêtres peuvent être ménagées dès le début ou pratiquées une fois l'ossature en place.

Support périmétrique inférieur

La charge du nouveau mur est transférée à la structure de la maison par le support sur lequel elle repose. La conception et la fixation de ce support dépend de divers facteurs, à savoir :

- la **quantité d'isolant** à installer dans le mur, laquelle dictera l'épaisseur du mur;
- la **charge** du mur après réfection, laquelle peut exiger un support plus solide;
- la **partie de la maison** à laquelle le support doit être fixé.

L'option A, illustrée à la figure 7.9, est facile à réaliser et convient à un mur léger monté, au plus, à 140 mm du mur originel. Il y a, dans ce cas, un pont thermique minime au niveau de la lisse.

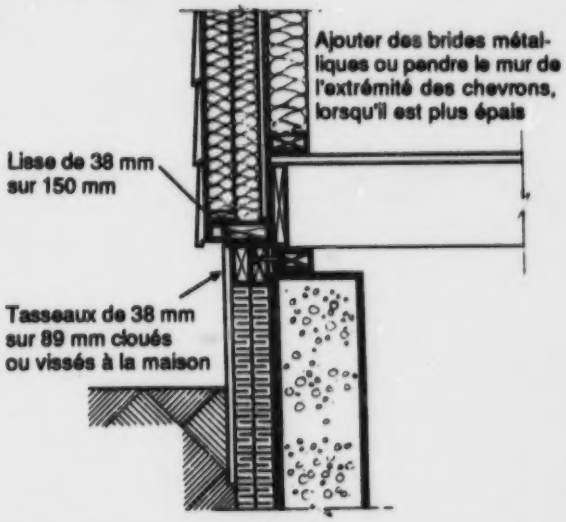


Fig. 7.9 Support inférieur léger

Le support de type B (illustré à la figure 7.10) est plus solide et convient à un mur plus épais et plus lourd. Il est fabriqué à l'avance, puis fixé aux murs de la maison.

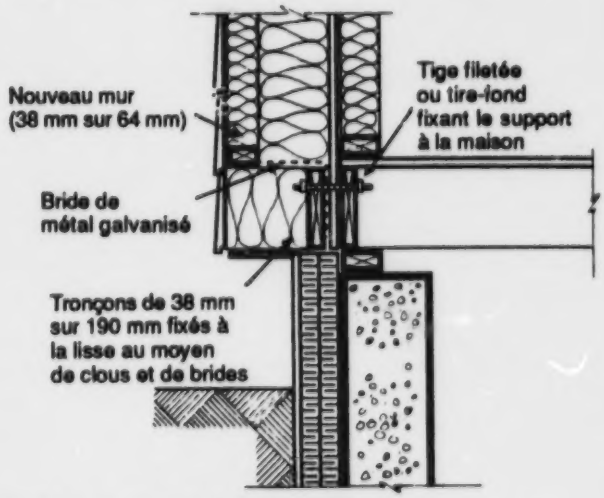


Fig. 7.10 Support inférieur renforcé

Le support de type C (figure 7.11) doit être renforcé par un contreventement diagonal, constitué d'une bride de métal galvanisé le rattachant à la structure, habituellement tous les deux poteaux. Afin d'éviter toute difficulté, on étançonnera normalement le support jusqu'à ce que l'ossature soit en place. Cela facilitera l'installation d'une ossature préfabriquée et la mise en place ultérieure des brides.

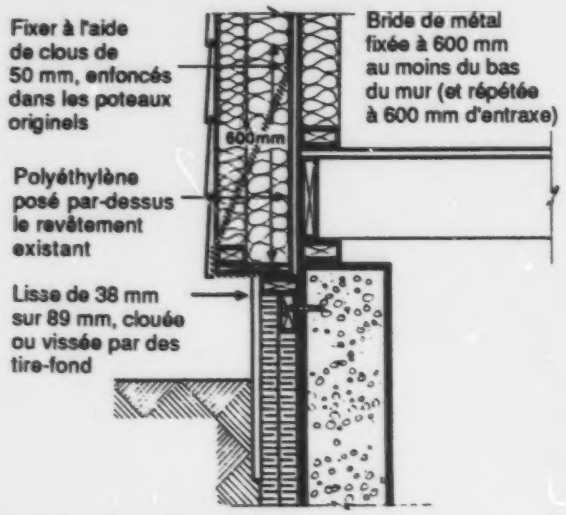


Fig. 7.11 Support inférieur contreventé

Jonction au niveau du toit

La nouvelle ossature peut être fixée à la face inférieure de l'extrémité des chevrons ou des solives du toit, pour éviter tout déplacement latéral. On peut caler le pan dans l'espace disponible ou raccourcir les chevrons. L'entrepreneur décidera de la technique qui convient le mieux et verra s'il faut couper les poteaux à onglet ou les fixer à la sous-face originelle. Il faut maintenir la ventilation de la sous-face, en déplaçant au besoin les aérateurs (figures 7.12 et 7.13).

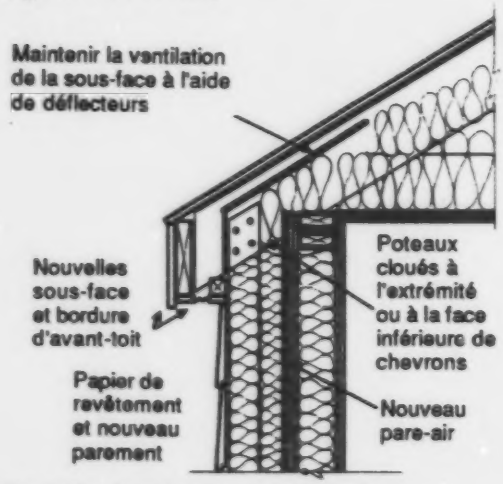


Fig. 7.12 Jonction du mur et des chevrons

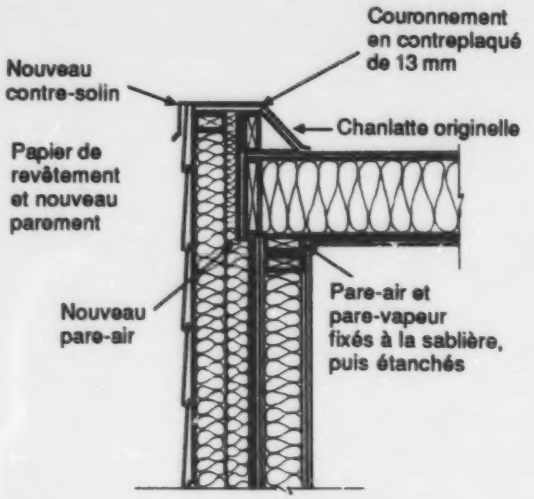


Fig. 7.13 Jonction du mur et d'un toit plat

Le pare-air de polyéthylène est fixé par un joint étanche à la sablière du mur, qui assure la jonction entre le pare-air et pare-vapeur extérieur et la membrane d'étanchéité intérieure. On peut aussi placer du polystyrène extrudé entre les solives de plafond au niveau de la sablière, tout le tour de la maison (figure 7.14). Il faut alors fixer le polyéthylène aux panneaux rigides et l'étancher.

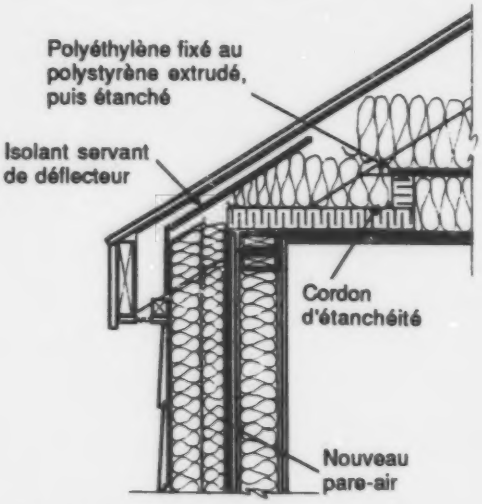


Fig. 7.14 Étanchéisation à l'aide de polystyrène extrudé

Support complémentaire

Lorsque la réfection concerne un immeuble à plusieurs étages, on peut devoir installer un autre support à mi-hauteur du mur. Ce support n'a pas besoin d'être aussi solide que le support inférieur, mais il est nécessaire pour rattacher l'ossature au mur de la maison. La charge du mur entier repose sur le support inférieur. Un tel support intermédiaire sera vraisemblablement nécessaire, lorsqu'on envisage d'utiliser des poteaux de plus de 3 mètres de hauteur (figure 7.15).

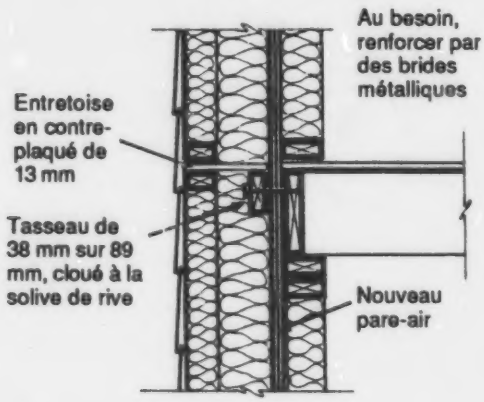


Fig. 7.15 Support intermédiaire

Portes et fenêtres

La figure 7.16 montre une façon de prolonger le seuil et l'encadrement d'une fenêtre qu'on n'entend pas réaménager dans la nouvelle ossature. Lorsque le seuil est beaucoup élargi, il faut songer à y mettre un solin de métal pré-peint pour éviter les dommages causés par les intempéries. La figure 7.17 montre comment compléter le travail de réfection, en posant un contreplaqué de 13 mm d'épaisseur dans l'embrasure, du côté intérieur, lorsqu'on réaménage la fenêtre dans la nouvelle ossature. La finition intérieure de l'embrasure se fait alors à l'aide d'un revêtement de panneaux de mur sec, d'un encadrement et d'un prolongement de seuil en bois ou de carreaux céramiques.

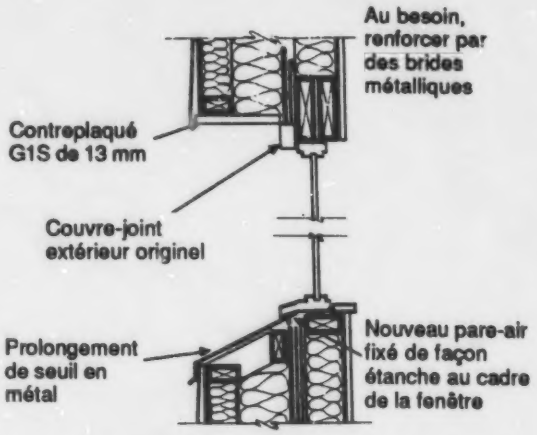


Fig. 16 Prolongement du cadre de fenêtre et solin métallique

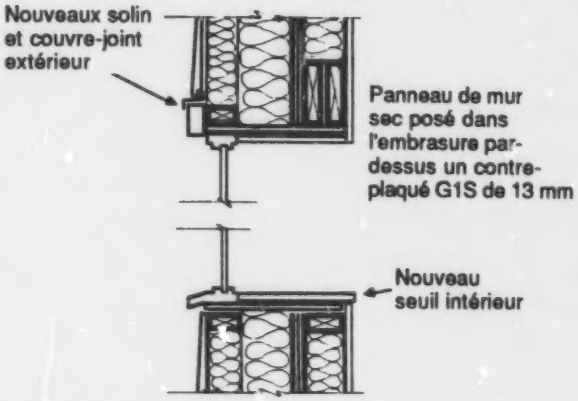


Fig. 7.17 Prolongement du cadre de fenêtre et revêtement en contreplaqué

7.2.2 *Mur à poteaux composés ajourés, fixé à l'ossature originelle (figure 7.18)*

Cette technique de réfection par l'extérieur suppose qu'on fixe des poteaux composés ajourés à l'ossature originelle, après avoir posé le pare-air et pare-vapeur. Les poteaux composés sont fixés à l'ossature de la maison au niveau de la sablière et de la solive de bordure ou de rive, un support additionnel pouvant être assuré en les rattachant aux extrémités des chevrons et aux poteaux originels. Les poteaux composés ajourés sont installés à entraxes de 600 mm ou 400 mm, pour faciliter la pose de l'isolant, du revêtement intermédiaire et du bardage. Il faut employer des clous d'une longueur minimale de 90 mm, enfoncés à 25 mm au moins dans les poteaux, la sablière ou la lisse basse de la maison, pour y fixer les poteaux composés ajourés. Les clous ou les vis traversent le montant interne de 38 mm sur 38 mm du poteau composé. Il faut, en outre, fixer une lisse de contreplaqué de 13 mm à la base du mur à poteaux composés ajourés, pour empêcher l'air d'y circuler et la neige, les insectes et les rongeurs d'y pénétrer.

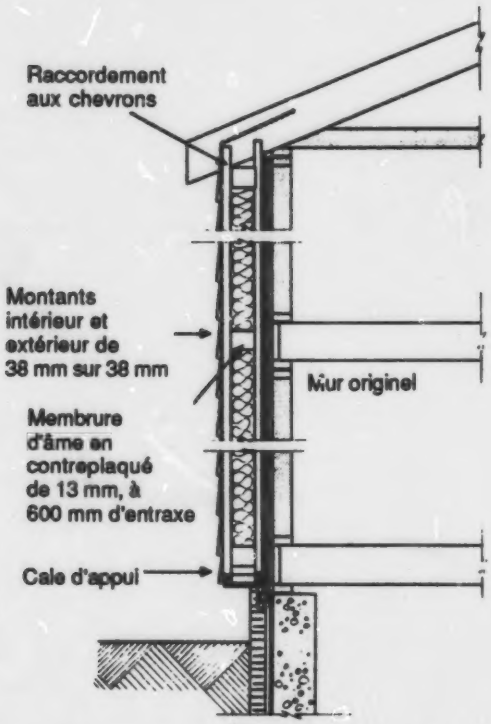


Fig. 7.18 Mur à poteaux composés ajourés, fixé à l'ossature originelle

Les nattes de fibres de verre maintenues par friction sont l'isolant usuel dans ce cas. Tout dépendant de la configuration des poteaux composés ajourés, on peut devoir utiliser des nattes plus larges pour empêcher la circulation d'air entre leurs montants interne et externe. Les nattes de ce genre se vendent habituellement en épaisseur de valeur RSI 4,9.

Certains des principaux points à surveiller au moment de la conception du mur à poteaux composés ajourés sont :

- le mode de fixation à la structure originelle,
- la largeur des poteaux composés ajourés,
- leur configuration et
- les courants d'air verticaux.

L'installation d'un mur à poteaux composés ajourés peut être plus difficile lorsque le mur originel est inégal ou présente des retraits. Il est alors difficile de fixer les poteaux composés à la structure de la maison. À moins d'enlever le bardage, pour leur procurer un bon appui, il faudra utiliser beaucoup de cales. Les poteaux composés ajourés doivent être alignés d'aplomb, sinon les encadrements de portes et de fenêtres seront difficiles à exécuter.

Configuration des poteaux composés ajourés

Différents genres de poteaux composés ajourés sont employés en réfection. L'entrepreneur peut acheter des poteaux tout faits ou les assembler sur le chantier. La façon de procéder dépendra de la disponibilité des matériaux, des fournitures et de l'équipement, ainsi que de la main-d'oeuvre. Le coût et la facilité d'installation seront vraisemblablement les facteurs décisifs.

Option A — Poteaux composés ajourés de type Larsen (figure 7.19)

Ce genre de poteau composé ajouré préfabriqué est constitué de montants de 38 mm sur 38 mm reliés par des membrures d'âme en contreplaqué de 8 mm à 13 mm d'épaisseur. Le contreplaqué est encastré dans les montants de façon que l'ensemble ait une largeur totale de 190 mm. On peut devoir mettre un revêtement intermédiaire ou un fond de clouage par-dessus l'ossature isolée pour poser le bardage. L'installation des poteaux composés ajourés à 600 mm d'entraxe facilitera la pose de l'isolant, du revêtement intermédiaire et du bardage.

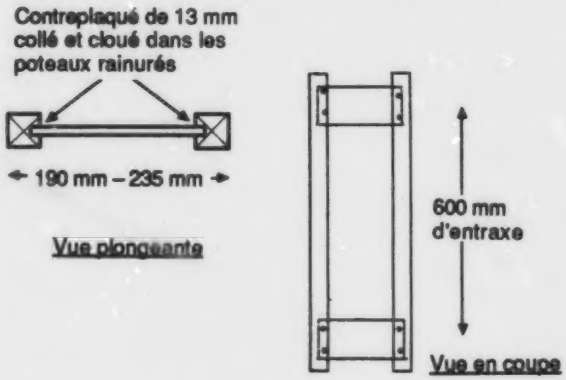


Fig. 7.19 Poteau composé ajouré de type Larsen

Option B - Poteaux composés ajourés à âme clouée de face (figure 7.20)

Ce genre de poteau composé ajouré est fait de montants de 38 mm sur 38 mm reliés par des membrures d'âme en contreplaqué de 13 mm, clouées de face sur les montants, à 600 mm entraxe. L'ensemble varie en largeur de 150 mm à 300 mm. On met une couche d'isolant rigide entre les montants de 38 mm sur 38 mm pour restreindre la circulation d'air entre eux. L'isolant doit avoir 38 mm d'épaisseur pour affleurer la surface des montants et former avec eux un plan uniforme. On peut employer à cette fin du polystyrène ou de l'uréthane en panneaux. Il est recommandé de mettre l'isolant bien à serre. On suggère également d'installer les poteaux composés ajourés à 600 mm d'entraxe pour faciliter la pose de l'isolant, du revêtement intermédiaire et du bardage par la suite, à moins que le clouage de ce dernier n'exige un espacement moindre.

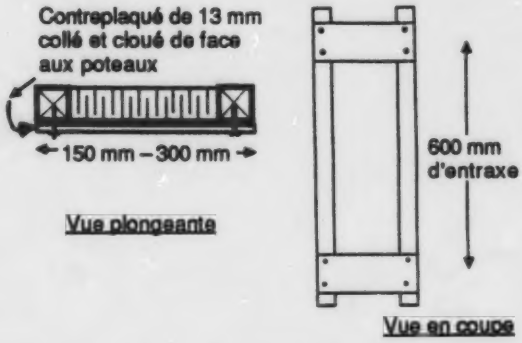


Fig. 7.20 Membrure d'âme clouée de face

Nota : On recommande de toujours employer du bois séché au four pour fabriquer les poteaux composés ajourés. Cela diminuera les problèmes de manutention liés au gauchissement.

Support inférieur (figure 7.21)

Il faut fermer le bas du mur à poteaux composés ajourés pour empêcher l'air froid d'y souffler. Le support ménagé au bas du mur devrait aussi empêcher l'entrée des insectes, des rongeurs et de la neige. L'installation des poteaux composés ajourés peut se faire sur différents genres de supports. Les codes du bâtiment exigent toutefois que tout bois à découvert placé à moins de 200 mm du sol fini soit traité.

Option A

Ce genre de support exige que le montant externe du poteau composé ajouré soit plus long que son montant interne. Une lisse de 38 mm sur 89 mm est fixée aux fondations par des tire-fond ou des clous et sert de support au montant interne. Le montant externe descend 50 mm plus bas et est raidi par l'addition d'un tasseau de 38 mm sur 38 mm. Si le bas du mur se trouve à moins de 200 mm du sol, il faut fermer l'ensemble par un panneau de contreplaqué traité, de 13 mm d'épaisseur, allant du mur originel au montant externe. On peut éviter d'avoir à clouer le contreplaqué par-dessous en assemblant le support avant de le mettre en place.

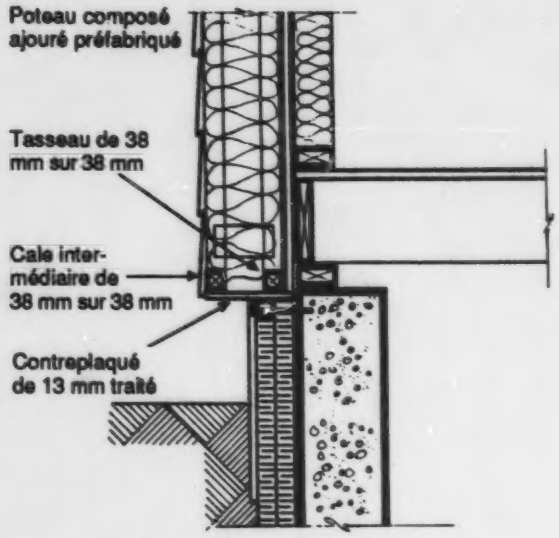


Fig. 7.21 Support monté à même l'ossature

Option B (figure 7.22)

Ce support présente une légère variante du concept expliqué ci-dessus. Il est fait d'éléments de 38 mm sur 38 mm reliés par du contreplaqué traité. L'ensemble est cloué directement aux montants externes des poteaux composés ajourés et maintenu en place, contre la maison, par un élément de 38 mm sur 63 mm posé après qu'on a fixé les poteaux composés.

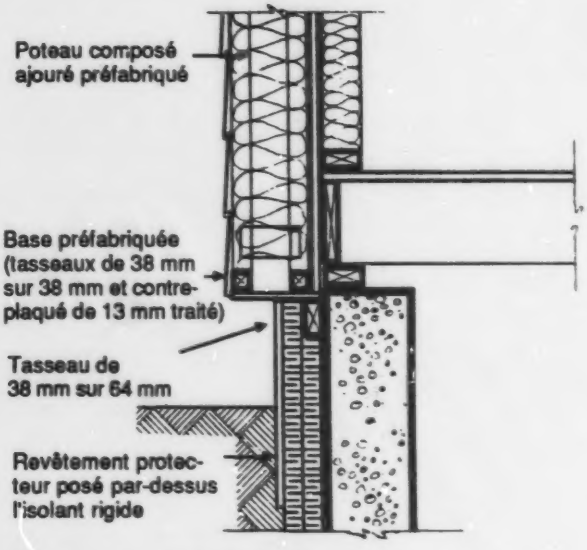


Fig. 7.22 Support préfabriqué

Jonction des chevrons et de la sablière

La fixation des poteaux composés ajourés, au haut du nouveau mur, peut se faire de différentes façons.

Idéalement, on enlève la sous-face pour fixer le pare-air de façon étanche à la sablière du mur originel. On peut alors clouer les poteaux composés ajourés aux extrémités des chevrons et au débord de pignon pour les raidir. Lorsque l'espacement des poteaux composés ajourés ne coïncide pas avec celui des chevrons, on peut clouer des cales de 38 mm sur 38 mm ou 89 mm entre le haut des montants externes des poteaux composés et les chevrons adjacents (figure 7.23).

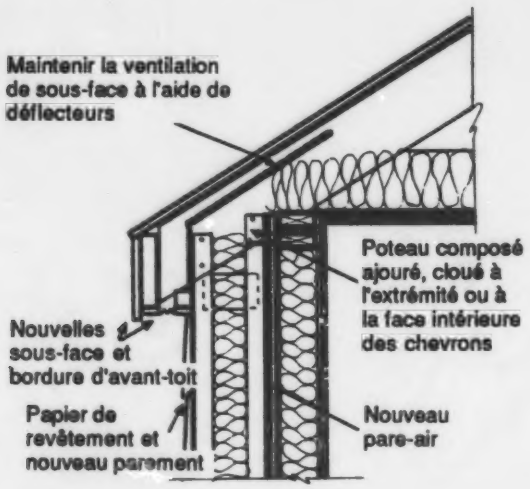


Fig. 7.23 Jonction du mur et des chevrons

Lorsqu'on n'enlève pas la sous-face, on peut couper les poteaux de façon à les y ajuster. Dans ce cas, on peut devoir agrandir les évents de la sous-face pour assurer une ventilation continue de l'entretoit. L'insertion de cales entre les montants externes des poteaux composés ajourés ou l'addition d'une sablière de 38 mm sur 38 mm, clouée à la sous-face, aidera à raidir le haut du mur dans son axe longitudinal.

Portes et fenêtres

L'ouverture brute des portes et fenêtres est formée d'un linteau fait de 38 mm sur 89 mm placé entre les poteaux composés ajourés qui servent de montants. Il faut donner à l'ouverture brute 25 mm de plus qu'on ne le ferait normalement pour permettre l'installation d'un contreplaqué de 13 mm d'épaisseur entre le montant externe des poteaux composés et le cadre originel (figure 7.24).

Angles

Aux angles saillants, on peut réunir deux poteaux composés ajourés de manière à former un L dont la base est aboutée à un mur de la maison (qu'elle prolonge) et dont l'autre élément est parallèle aux poteaux composés ajourés ajoutés à ce mur. Pour renforcer l'angle, on peut

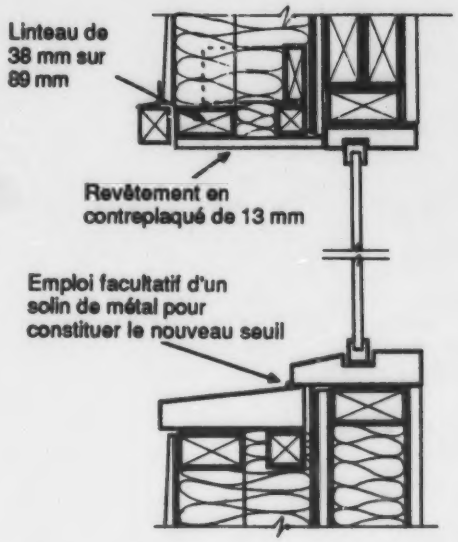


Fig. 7.24 Exécution du cadre de fenêtre

ensuite clouer des ensembles rappelant un poteau composé ajouré, en travers, à 600 mm d'entraxe entre le montant du L et le premier poteau composé ajouré, fixé directement sur la maison.

Pour former un angle rentrant, il suffit d'installer deux poteaux composés ajourés à la manière indiquée à la figure 7.25.

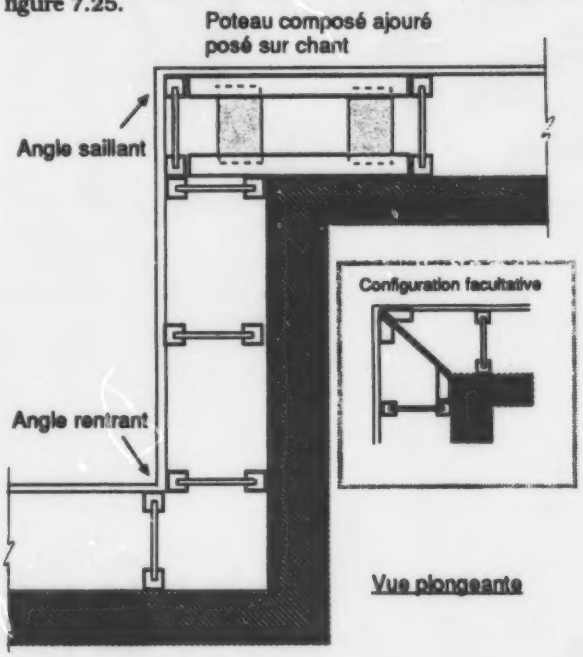


Fig. 7.25 Exécution des angles

7.2.3 *Ossature sur fond de clouage transversal (figure 7.26)*

Cette technique de réfection par l'extérieur, consiste à installer un fond de clouage horizontal sur le mur originel, après avoir posé le pare-air-vapeur, et à y fixer une nouvelle ossature murale. Elle permet un isolement de valeur RSI 3,5 environ, selon la règle 1/3 - 2/3.

Les tasseaux peuvent être cloués à 600 mm d'entraxe, ou plus si l'on entend mettre de l'isolant rigide entre eux. Il s'agira habituellement d'éléments de 38 mm sur 64 mm

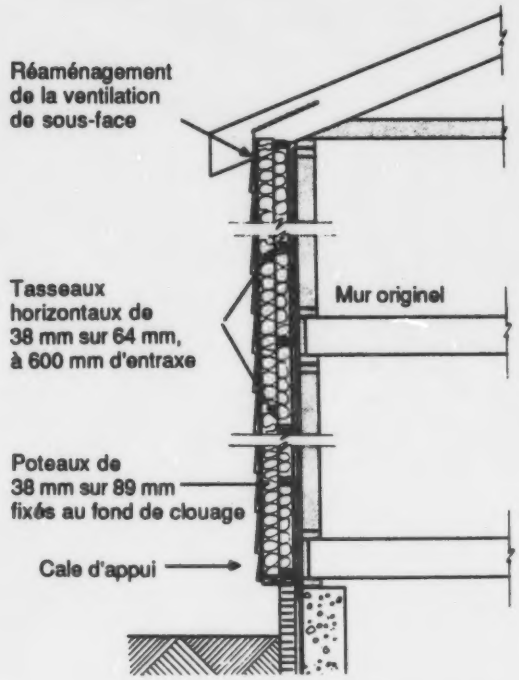


Fig. 7.26 Ossature sur fond de clouage transversal

ou 38 mm, car il est déconseillé de clouer en biais des éléments de plus de 89 mm d'épaisseur. Fixer les tasseaux aux poteaux, à la sablière, à la lisse ou à la solive de bordure ou de rive du mur originel. On peut devoir caler le fond de clouage pour garder (ou mettre) le mur d'aplomb. Lorsque le fond de clouage est constitué d'éléments de 38 mm sur 64 mm, remplir les cavités horizontales intercalaires de nattes de fibres de verre de valeur RSI 1,2. Quand il est fait d'éléments de 38 mm sur 38 mm, utiliser de l'isolant rigide de 38 mm d'épaisseur, en prenant soin de bien ajuster les panneaux.

Fixer ensuite des poteaux au fond de clouage, à 600 mm d'entraxe, à l'aide de clous ordinaires enfoncés de face ou en biais. Si on préfère, on peut percer au préalable les poteaux de 38 mm sur 89 mm et les fixer au fond de clouage à l'aide de clous de 125 mm.

L'ossature peut être assemblée au préalable et mise en place par sections de dimensions manoeuvrables ou être construite à même le mur. Dans le premier cas, il faut ajouter à l'ensemble une sablière et une lisse. Le nombre de fenêtres et de portes que comporte la façade contribuera à déterminer la méthode qui convient.

Cette façon de procéder a pour inconvénients majeurs :

- de limiter l'isolement possible à une valeur RSI 3,5 et
- d'empêcher la continuité de l'isolant.

7.2.3.1 *Configuration de l'ossature (figure 7.27)*

La configuration et les dimensions de la nouvelle ossature murale sont fonction du bardage originel de la maison, de la quantité d'isolant à ajouter et du nouveau bardage choisi. Le plus souvent, on posera un premier fond de clouage, perpendiculaire à l'ossature de la maison. Ce fond peut être cloué de face aux poteaux originels ou, s'il est fait de bois de 38 mm sur 64 mm ou 89 mm, on peut y percer des trous avant de le clouer pour éviter qu'il ne fende (figures 7.27 et 7.28). Si le bardage extérieur est constitué d'éléments verticaux, on peut économiser main-d'oeuvre et matériaux, en inversant l'ordre des travaux, c.-à-d. en mettant un fond de clouage vertical auquel on superposera des éléments horizontaux.

Fig. 7.27 Fond de clouage en bois de 38 mm sur 38 mm

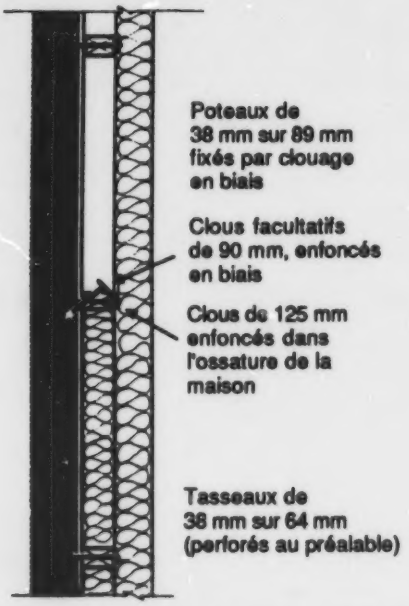


Fig. 7.28 Fond de clouage en bois de 38 mm sur 64 mm

L'ossature même est habituellement constituée d'éléments de 38 mm sur 89 mm cloués en biais ou forés au préalable et cloués de face au fond de clouage horizontal. Ces éléments sont installés à 600 mm d'entraxe afin de permettre la fixation d'un revêtement intermédiaire standard et du bardage. Le fond de clouage et l'ossature proprement dite peuvent être assemblés sur le sol, puis mis en place en une seule unité.

Support inférieur

Il y a différents moyens d'assurer l'étanchéité du bas de l'ossature sur fond de clouage. Quelle que soit la méthode choisie, il faut cependant respecter les principes suivants:

- Tout bois placé à moins de 200 mm du sol fini doit être traité.
- Il faut prévoir un appui solide pour le bardage.
- Il faut restreindre le plus possible la circulation d'air dans la nouvelle ossature.

La figure 7.29 illustre l'emploi d'une lisse de contreplaqué traité clouée au dessous du tasseau inférieur et à l'extrémité des poteaux. Cette technique suppose l'insertion de cales en entretoise entre les poteaux de la nouvelle ossature pour donner plus de rigidité à l'ensemble. On pourrait aussi substituer une lisse de 38 mm sur 140 mm à l'ensemble de contreplaqué.

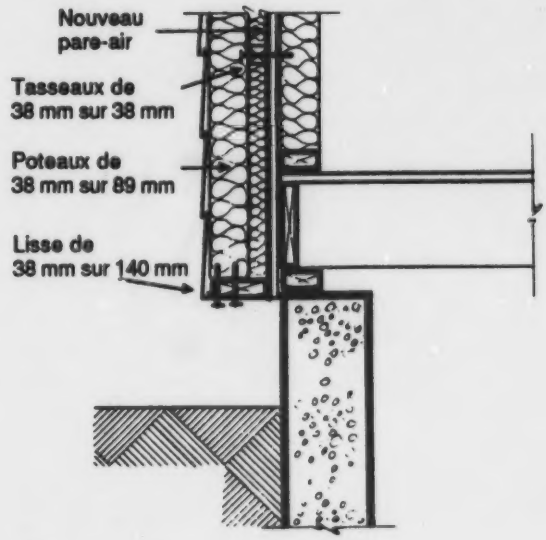


Fig. 7.29 Exécution du support inférieur

La figure 7.30 illustre le cas où le support inférieur sert à clouer le revêtement protecteur de l'isolant des fondations. Les poteaux de la nouvelle ossature sont cloués en biais à l'élément inférieur du fond de clouage, qui a 38 mm sur 89 mm. En arrêtant les poteaux à mi-largeur de l'élément auquel ils sont cloués, on ménage une surface de fixation du revêtement protecteur (crépi sur latte, contreplaqué traité, etc.) qui sera installé par la suite par-dessus la partie supérieure de l'isolant des fondations.

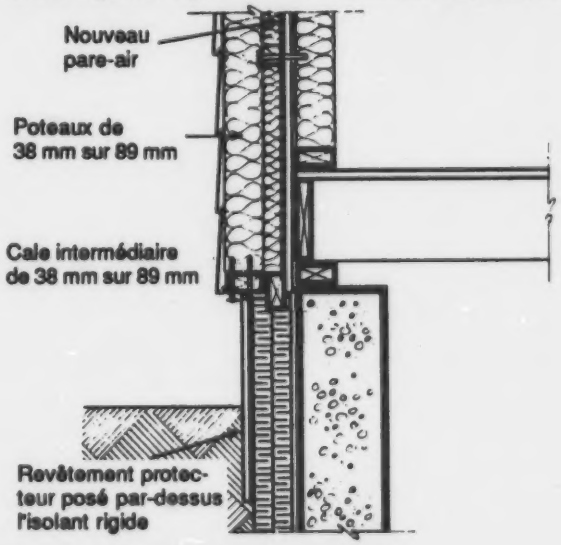


Fig. 7.30 Exécution du support inférieur

Jonction aux chevrons

Les poteaux de la nouvelle ossature peuvent être fixés à la face inférieure, soit de la sous-face, soit des extrémités des chevrons. L'insertion de cales à leur extrémité assurera une surface de clouage et raidira l'ossature extérieure (figure 7.31).

Fig. 7.31 Jonction du mur et des chevrons

Portes et fenêtres

On pose des cales aux ouvertures des portes et fenêtres pour compenser l'épaississement du mur. Les tasseaux de 38 mm sur 38 mm utilisés à cette fin doivent faire la largeur de l'ouverture, afin qu'on puisse fixer les poteaux de la nouvelle ossature à cet endroit. Quand on prolonge le seuil et l'encadrement existants, il faut assurer un joint étanche entre les deux ouvertures. On peut aussi mettre le seuil de la nouvelle ouverture légèrement au-dessous du seuil originel (figure 7.32).

Lorsqu'on pose de nouvelles fenêtres, on peut recouvrir les parois de l'embrasure de contreplaqué, ce qui permettra de placer la fenêtre à la profondeur désirée. On peut employer différents matériaux pour l'intérieur du cadre et le seuil.

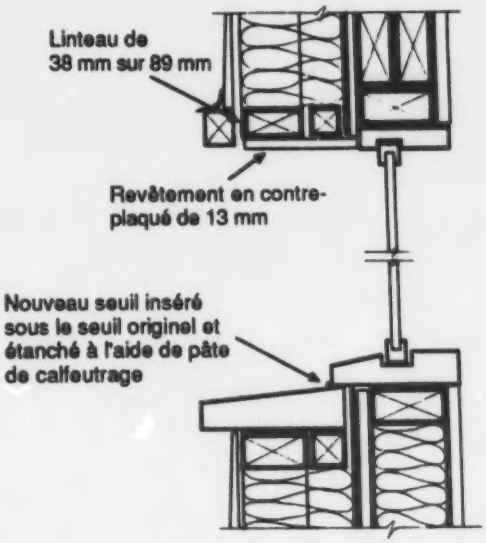


Fig. 7.32 Exécution du cadre de fenêtre

7.2.4 Mur-rideau pendu aux extrémités des chevrons (figure 7.33)

Cette technique a été employée pour de nombreux projets de réfection au Canada. Elle consiste à pendre à l'extrémité des chevrons un mur-rideau constitué de poteaux de 38 mm sur 64 mm ou 89 mm, qu'on fixe aussi par endroits à l'ossature originelle. La préparation de l'ossature, sur le chantier ou en atelier, est assez élaborée, mais elle accélère la mise en place.

Les poteaux sont installés un à un, leur entraxe étant fonction de celui des chevrons auxquels ils sont pendus. Cette disposition peut compliquer l'isolation et la pose du bardage par la suite, si les chevrons ne sont pas espacés comme il se doit. Idéalement, les poteaux du mur-rideau doivent se trouver à 600 mm d'entraxe. Toutefois, ils peuvent être placés à 400 mm, lorsque le bardage l'exige.

Le mur-rideau peut être conçu pour recevoir à peu près n'importe quelle épaisseur d'isolant, bien qu'il n'est pas pratique d'ajouter plus qu'une valeur RSI 5,6. Dans ce cas, l'isolant est installé en deux couches, la première (valeur RSI 3,5) étant placée horizontalement entre le mur originel et le nouveau mur et la deuxième, verticalement entre les poteaux du mur-rideau. Il faut s'assurer de bien ajuster les nattes entre les poteaux.

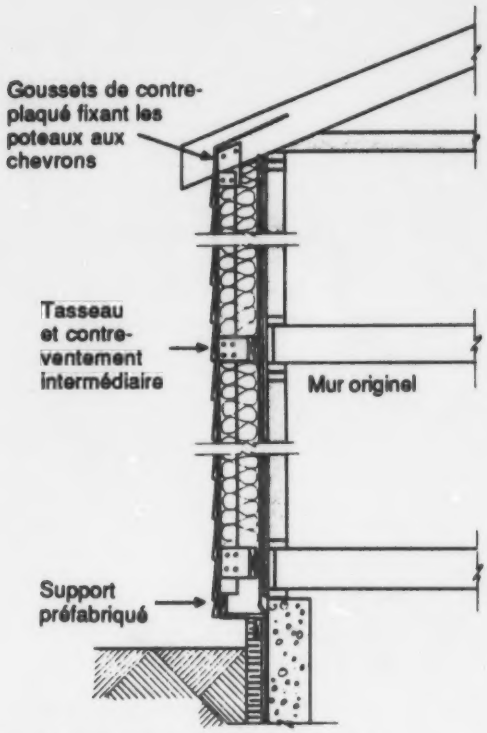


Fig. 7.33 Mur-rideau pendu aux extrémités des chevrons

Jonction aux chevrons

Le nouveau mur-rideau est fixé directement aux extrémités des chevrons ou aux membrures des fermes, à l'aide de goussets de contreplaqué de 13 mm d'épaisseur placés de part et d'autre ou d'un côté seulement des poteaux (figure 7.34). Les goussets sont cloués d'abord aux nouveaux poteaux, de manière à former un manchon s'ajustant aux chevrons. On peut devoir mettre une cale entre le gousset et le poteau du mur-rideau auquel il est fixé, lorsque les chevrons sont fabriqués de bois de construction plus épais. Les goussets sont cloués aux poteaux au moyen de clous galvanisés de 38 mm. On peut aussi clouer les poteaux directement aux chevrons, ce qui occasionne moins de travail et demande moins de clous. Le raccordement aux chevrons doit préserver l'alignement: les poteaux doivent tous être d'aplomb et à la même distance du mur originel. Un alignement de précision à l'aide d'un cordeau facilitera l'installation.

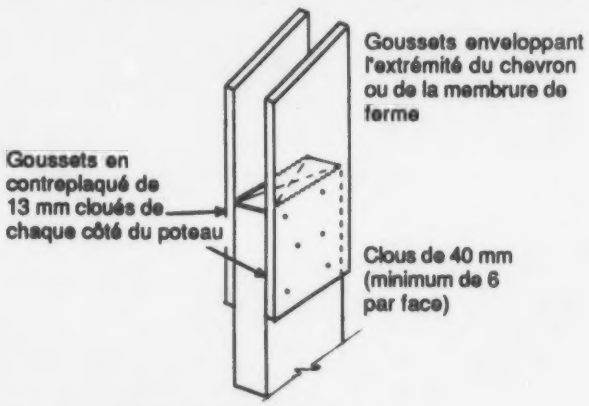


Fig. 7.34 Goussets en contreplaqué

Contreventement intermédiaire

Le mur-rideau s'appuie à la base sur un montage distinct. Il en va de même à mi-hauteur lorsqu'il s'étend sur plus d'un étage. Une bande de contreplaqué de 13 mm d'épaisseur relie le bord extérieur du poteau externe au mur originel. Cette bande doit avoir 300 mm de haut et être fixée à l'aide de clous galvanisés de 50 mm aux poteaux du mur-rideau et à la rive d'un tasseau de 38 mm sur 89 mm (figure 7.35). L'ensemble constitué par le contreplaqué et le tasseau est fixé aux poteaux du mur-rideau avant leur installation. Une fois l'aplomb et l'alignement du nouveau pan vérifiés, on fixe le tasseau au mur de la maison. Lorsqu'une partie de la charge constante du mur-rideau est transférée au contreventement intermédiaire, l'élément utilisé pour le contreventement doit être vissé directement à des poteaux, à une lisse ou à une solive de bordure ou de rive.

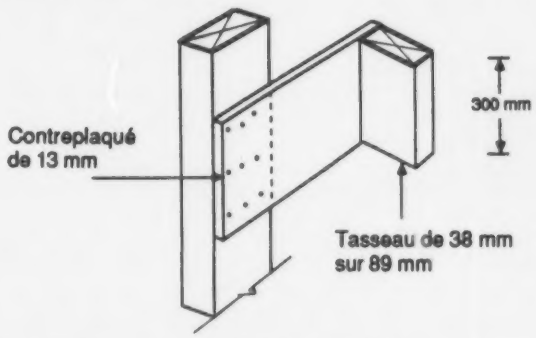


Fig. 7.35 Contreventement intermédiaire

Support inférieur

Il faut fermer le bas du mur-rideau pour empêcher toute circulation d'air, ainsi que l'entrée de neige, d'insectes et de rongeurs. Le support illustré à la figure 7.36 est un assemblage en L préfabriqué, suspendu de l'extrémité inférieure des poteaux de 38 mm sur 89 mm du mur-rideau. Il est constitué d'un contreplaqué traité de 13 mm d'épaisseur, cloué sur la rive d'une cale de bois traité de 38 mm sur 89 mm. L'ensemble est placé d'équerre à la base des poteaux, puis cloué. Sa continuité donne plus de rigidité à la base du mur-rideau. Le support peut être cloué à un tasseau traité, fixé sur la maison. Il importe de bien étancher cet endroit afin d'empêcher l'infiltration d'air froid. Dans le cas de maisons de construction plus ancienne, aux murs inégaux, on peut devoir mettre assez de produit d'étanchéité pour assurer un joint étanche.

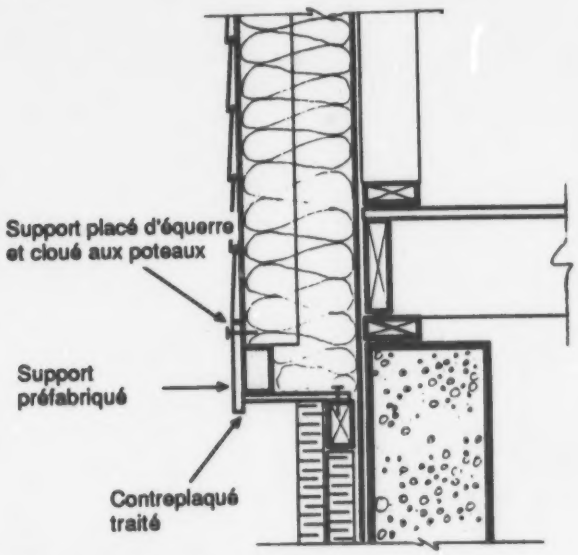


Fig. 7.36 Exécution de la base

Angles

Les angles rentrants sont faciles à exécuter, bien que l'espacement des chevrons peut obliger à rattacher les poteaux d'angle aux murs de la maison plutôt qu'aux chevrons. On ajoutera alors des contreventements aux nouveaux poteaux pour en transférer la charge de la sablière à la lisse ou aux poteaux des murs originels.

Aux angles saillants, appuyer le poteau d'angle contre des cales en porte-à-faux. Partant du premier poteau du mur originel, clouer des éléments de 38 mm sur 89 mm et les prolonger au-delà de l'angle de la maison; fixer ensuite le poteau d'angle du mur-rideau à cet appui (figure 7.37).

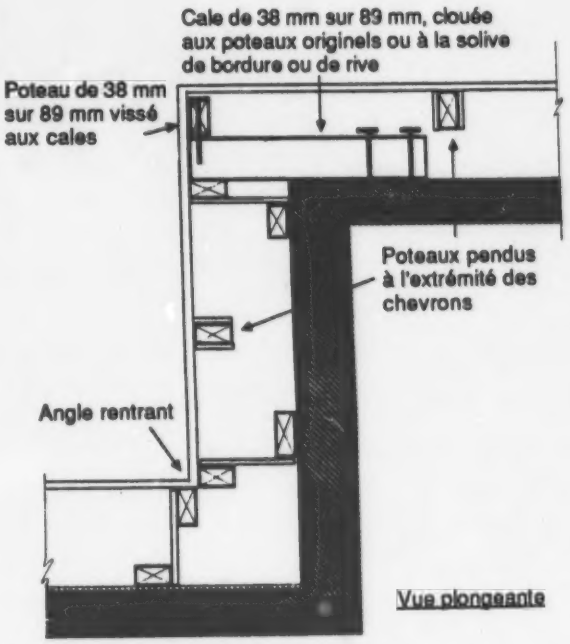


Fig. 7.37 Exécution des angles

Portes et fenêtres

Lorsqu'on ne déplace pas ou ne remplace pas la fenêtre existante, il faut veiller à préserver le drainage au niveau du seuil. À cette fin, on peut, comme le montre la figure 7.38, insérer le nouveau seuil sous le seuil originel. Un élément de 38 mm sur 89 mm sert alors d'appui au seuil, quoiqu'on pourrait fixer un nouveau cadre sur l'ouverture originelle. On peut aussi poser un seuil en métal.

Lorsqu'on installe une nouvelle fenêtre, relier l'ouverture initiale à la nouvelle par du contreplaqué. Ce revêtement permet de placer la fenêtre à n'importe quelle profondeur dans l'embrasure. Bien imperméabiliser le seuil s'il y a risque de condensation.

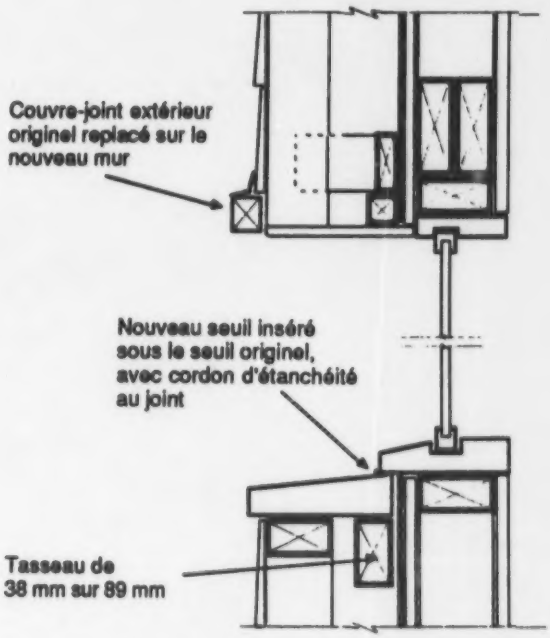


Fig. 7.38 Pose de cales autour des fenêtres

7.2.5 Panneaux isolants rigides (figure 7.39)

Une autre technique de réfection par l'extérieur suppose l'installation d'isolant rigide par-dessus les murs originels. Elle a l'avantage de permettre un meilleur isolement thermique par unité d'épaisseur et peut s'avérer la solution privilégiée, lorsque des contraintes d'espace empêchent l'installation d'une nouvelle ossature. Elle a toutefois pour inconvénient de compliquer l'installation du nouveau bardage. De plus, certains bardages risquent de fléchir lorsque combinés à de l'isolant rigide.

La présente section traite de l'installation d'isolant rigide de valeur RSI 3,5 ou plus, donc habituellement d'une épaisseur supérieure à 50 mm. Il est par ailleurs courant de mettre un revêtement intermédiaire isolant en panneaux rigides de 25 mm d'épaisseur ou moins sous un bardage neuf ou un bardage de remplacement. Lorsque l'entrepreneur entend employer des panneaux de moins de 25 mm, il devrait se reporter au *Manuel d'installation des revêtements intermédiaires isolants de l'ONGC (51-GP-47 MP)*.

La plupart des isolants rigides n'adhèrent bien qu'à une surface lisse. On peut donc devoir enlever le bardage existant et poser le nouveau pare-air sur le revêtement intermédiaire. On pourrait aussi agrafer des nattes isolantes refendues sur le revêtement extérieur existant, puis les recouvrir de panneaux de contreplaqué ou de copeaux pour assurer un fond de clouage.

Comme pour les autres techniques expliquées dans le présent manuel, on peut installer un pare-air et pare-vapeur en polyéthylène. Toutefois, si l'isolant rigide est peu perméable, il peut tenir lieu de pare-vapeur et on peut alors employer un autre matériau comme pare-air. Bien entendu, il faut toujours respecter la règle 1/3 - 2/3 de placement du pare-air et du pare-vapeur.

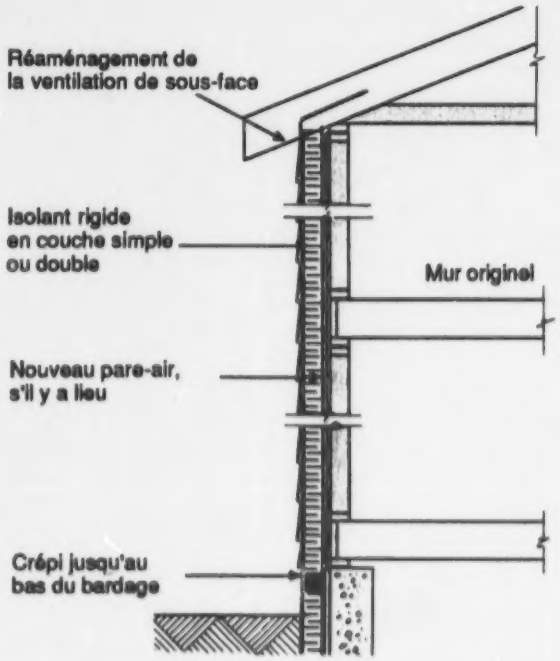


Fig. 7.39 Isolation à l'aide de panneaux rigides

La technique de pose du pare-air employé dans le cas d'une isolation thermique en panneaux rigides dépendra du matériau utilisé. Certains isolants rigides constituent un pare-air acceptable, lorsque leurs joints sont étanchés et recouverts de ruban adhésif. Le plus souvent, on se sert de produits d'étanchéité et de ruban adhésif pour étancher les joints. **Il faut toutefois s'assurer de suivre les recommandations du fabricant. Beaucoup de fabricants d'isolant rigide déconseillent expressément l'étanchéisation des joints, parce que, l'isolant étant imperméable, l'eau qui s'infiltre derrière ne pourrait pas s'échapper.** Cette question est reprise plus longuement dans le manuel intitulé *Isolation thermique des maisons pour la conservation de l'énergie de l'ONGC (51-GP-42MP)*.

Les panneaux isolants rigides s'installent directement sur le polyéthylène. Ils sont cloués ou fixés directement aux poteaux du mur sous-jacent, à travers le revêtement intermédiaire. Il faut mettre des attaches (à 150 mm d'entraxe) aux bords des panneaux, puis en répartir d'autres sur le reste du panneau, de manière à former une grille de fixation (de 300 mm sur 600 mm).

Le mode de fixation choisi dépend du bardage posé par la suite. Les divers types d'attaches possibles sont illustrés au chapitre 5. L'installation du parement même peut nécessiter d'autres travaux. Il est recommandé de ménager une lame d'air entre l'isolant et le parement pour éviter que celui-ci ne surchauffe. Certains fabricants d'isolant rigide recommandent un mode précis de fixation et de pose du parement.

Support inférieur

Comme l'isolant rigide n'exige pas d'ossature, il suffit de mettre au bas une lisse qui permettra de fixer l'élément inférieur du bardage et de poser un solin. L'installation de la lisse se fait le plus facilement avant la pose de l'isolant. Ses dimensions doivent par ailleurs correspondre à l'épaisseur de l'isolant et de toute lame d'air prévue, afin de faciliter la pose du parement. Bien s'assurer de mettre la lisse de niveau pour éviter des problèmes par la suite. Lorsqu'on ménage une lame d'air entre l'isolant et le parement, la lisse doit permettre l'écoulement de toute humidité qui pourrait s'y accumuler (figure 7.40).

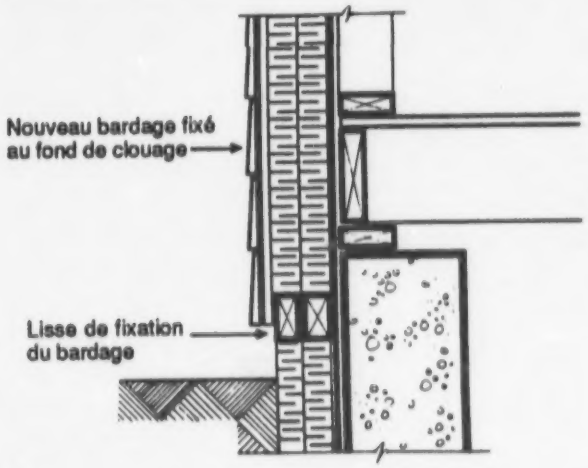


Fig. 7.40 Exécution du support inférieur

Sous-face

Il faut enlever la sous-face du débord de toit au cours de la préparation du mur. L'isolant rigide est ensuite prolongé jusqu'au haut de la sablière. Cela permet de réduire les ponts thermiques par le bois, mais oblige à découper l'isolant pour l'adapter aux extrémités des chevrons (figure 7.41). Il faut aussi fixer un tasseau aux poteaux du mur, à travers l'isolant, pour assurer un appui à la nouvelle sous-face.

Pourtour des ouvertures

Il faut poser des tasseaux autour des ouvertures du mur, notamment aux embrasures de portes et de fenêtres. Bien que cela ne soit pas nécessaire pour certains types de parement (latte, par exemple), la plupart des revêtements nécessitent un appui solide à ces endroits. On doit poser, à fleur du bord extérieur de l'ouverture (figure 7.42), des tasseaux de dimensions correspondant à l'épaisseur de l'isolant posé et à toute lame d'air ménagée. Dans certains cas, l'entrepreneur peut décider de mettre de l'isolant rigide dans l'embrasure de fenêtre même. Il devra alors vraisemblablement poser un deuxième tasseau contre le chambranle.

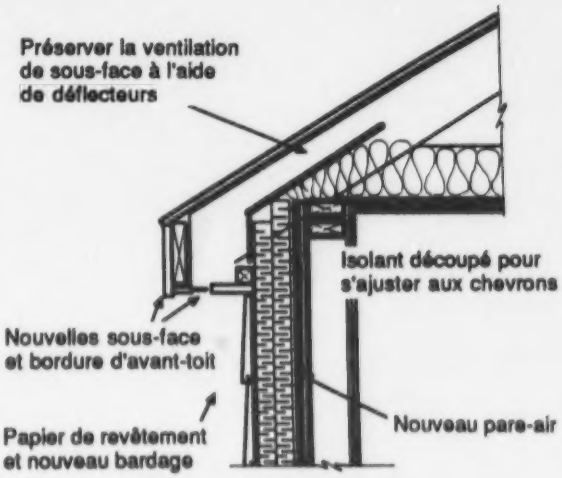


Fig. 7.41 Jonction de l'isolant aux chevrons

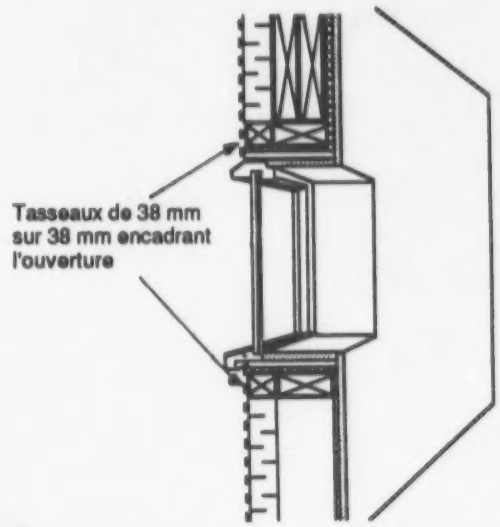


Fig. 7.42 Appui ménagé autour des ouvertures

Angles

Afin d'assurer un meilleur appui, clouer un tasseau des deux côtés de tout angle saillant (figure 7.43). Lorsque le bardage est horizontal, ces tasseaux vont du bas du mur jusque dessous la sous-face et assurent un appui continu. Ils ne sont pas nécessaires dans le cas d'un bardage vertical ou d'un revêtement de stucco.

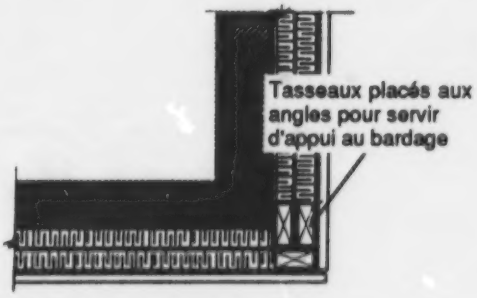


Fig. 7.43 Exécution des angles

Étanchéisation du pourtour des ouvertures

Il faut étancher le pourtour de toute ouverture pratiquée dans l'isolant rigide afin d'empêcher la circulation de l'air et la propagation de l'humidité. Lorsque le pare-air principal est en polyéthylène, l'étancher, à la manière indiquée en 7.1.2 ci-dessus, avant de poser l'isolant rigide.

Lorsqu'un isolant rigide à faible perméance tient lieu de pare-air ou de pare-vapeur, appliquer du produit d'étanchéité autour des ouvertures. L'entrepreneur doit veiller à bien ajuster l'isolant autour des éléments qui ne sont pas déplacés. Il doit aussi obturer l'espace entre les canalisations, les conduites, les câbles électriques, etc. et l'isolant adjacent à l'aide d'une pâte de calfeutrage appropriée (figure 7.44).

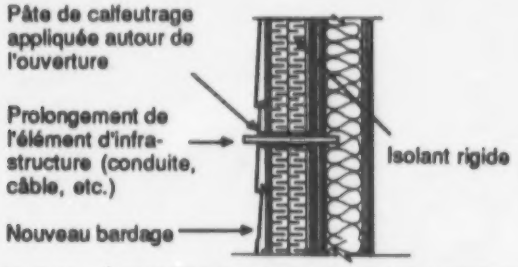


Fig. 7.44 Étanchéisation du pourtour des ouvertures

7.3 *STRUCTURES PARTICULIÈRES*

Toute vieille maison constitue un cas unique par sa conception, ses matériaux, son état général et les modifications qui y ont été apportées au fil du temps. Les techniques de réfection expliquées dans le présent manuel sont d'application générale et devront donc être adaptées aux particularités de chacune.

L'entrepreneur qui fait face à des problèmes inhabituels doit se guider sur les principes élémentaires de la réfection, à savoir :

- installation d'un pare-air continu, étanche à ses joints et extrémités et autour des ouvertures qui y sont pratiquées (il faut repérer et bloquer toute voie possible de fuite d'air.)
- installation d'un pare-vapeur adéquat du côté intérieur de l'isolant
- isolation thermique poussée, visant à restreindre le plus possible les ponts thermiques et à éliminer les espaces où il pourrait y avoir circulation d'air

Il convient parfois d'isoler un mur de l'intérieur, alors que les autres le sont de l'extérieur - notamment, lorsqu'il faut préserver la façade de la maison. Ce peut alors être difficile d'assurer l'étanchéité et d'empêcher les ponts thermiques au point de rencontre des deux types de réfection.

Un moyen de contourner le problème consiste à faire se chevaucher l'isolant intérieur et l'isolant extérieur aussi loin que possible (figure 7.45). Cette précaution est particulièrement importante dans le cas des maisons en maçonnerie, car la maçonnerie est conductrice de chaleur. Toutefois, la propagation de l'humidité à cet endroit est une considération encore plus importante que les pertes de chaleur, car elle peut causer des dommages. Il importe donc de stopper les fuites d'air, en étanchant à l'intérieur, et de diminuer la diffusion de la vapeur d'eau à l'aide d'une peinture assez imperméable.

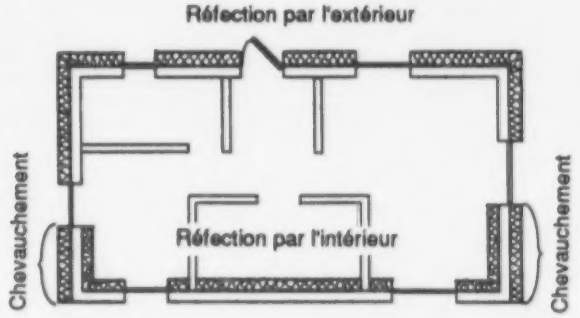


Fig. 7.45 Points de rencontre de la réfection extérieure et de la réfection intérieure

Les autres points de rencontre courants de la réfection extérieure et de la réfection intérieure sont :

- la lisse basse, lorsque les fondations sont isolées de l'intérieur et les murs de la maison, de l'extérieur (figure 7.46);
- la lisse basse, lorsque les fondations sont isolées de l'extérieur et les murs de la maison, de l'intérieur (figure 7.47);
- le plafond, lorsque le mur est isolé de l'extérieur, tandis que l'entretoit l'est de l'intérieur.

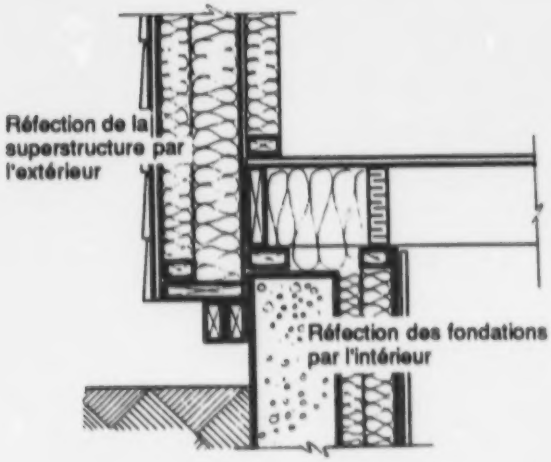


Fig. 7.46 Chevauchement de l'isolant au niveau de la lisse d'assise

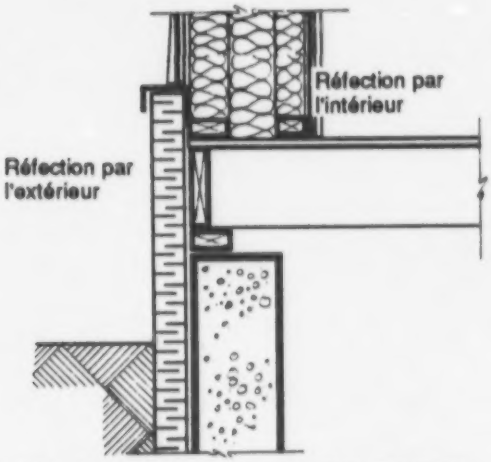


Fig. 7.47 Chevauchement de l'isolant au niveau de la lisse basse du rez-de-chaussée

7.3.1 Maisons en rangée

Isoler une maison en rangée construite en maçonnerie peut être difficile. La maçonnerie des murs extérieurs et des murs mitoyens peut faire l'effet d'un gros radiateur à ailettes. Si une des habitations seulement doit être isolée, une bonne part des bienfaits de l'isolation sera annulée par les pertes de chaleur qui se produisent le long des murs mitoyens. C'est particulièrement vrai dans le cas d'une réfection par l'extérieur. Aussi faut-il alors prolonger l'isolant d'au moins 600 mm au-delà de l'intersection du mur extérieur et des murs mitoyens. Il faudrait en outre étancher l'intérieur pour empêcher l'infiltration d'air par la section de murs extérieurs de l'habitation voisine (figure 7.48).

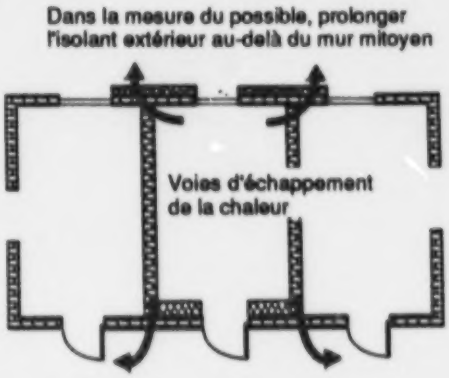


Fig. 7.48 Maisons en rangée

Les murs mitoyens de maisons en rangée sont souvent des murs coupe-feu qui montent dans l'entretoit, jusqu'au toit et parfois au-delà. Lorsque c'est le cas, il faudrait isoler ce mur là où c'est possible.

7.3.2 Maisons jumelées

Les maisons jumelées peuvent présenter les mêmes problèmes que les maisons en rangée. Il faut donc songer à compléter l'isolant et la membrane d'étanchéité posés à l'extérieur par des moyens semblables à l'intérieur afin de diminuer les fuites d'air. On peut aussi demander au voisin s'il serait intéressé à faire exécuter la réfection de sa maison au même moment.

7.3.3 Liaisons thermiques

Il convient parfois, habituellement dans les quartiers résidentiels du centre-ville, d'établir une liaison thermique entre deux maisons. Lorsque deux maisons sont séparées par un passage étroit (1 mètre ou moins), ce peut être moins coûteux et plus efficace de constituer une liaison thermique entre elles que d'isoler le mur de la maison en cours de réfection.

L'établissement d'une liaison thermique par murs pleins consiste à monter un mur isolé à chaque extrémité du passage (figure 7.49), qui sera ensuite coiffé d'un toit également isolé.

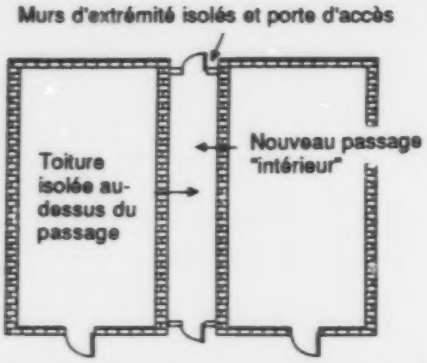


Fig. 7.49 Liaison thermique entre maisons de ville

L'addition de portes permet de continuer à emprunter le passage, qui, une fois fermé, est converti en un espace chauffé. Les pertes de chaleur des murs adjacents sont alors virtuellement éliminées et les murs de fondation contigus sont aussi liés thermiquement.

De toute évidence, ce type de réfection exigera le consentement de tous les intéressés, ainsi que l'autorisation du comité municipal de dérogation. Il faut par ailleurs en examiner les répercussions juridiques et les effets au plan du zonage et de la prévention des incendies.

Un autre moyen, moins ambitieux mais efficace, consiste à établir la liaison thermique au niveau des sous-sols seulement. On peut isoler le passage en recouvrant le sol d'isolant rigide, sur lequel on coule une nouvelle dalle de béton, en veillant à écarter l'eau des fondations (figure 7.50). De cette façon, seuls les sous-sols sont liés thermiquement.

Fig. 7.50 Liaison thermique exécutée par-dessous le niveau du sol

8

RÉFECTION DES MURS DE SUPERSTRUCTURE PAR L'INTÉRIEUR

Le chapitre 4 donne un aperçu des travaux que comporte la réfection complète exécutée de l'intérieur. Diverses techniques peuvent engendrer des économies d'énergie appréciables et ajouter sensiblement au confort du foyer. Toutefois ces avantages peuvent être atténués par le rétrécissement de l'aire habitable, les dérangements causés aux occupants et les problèmes techniques assortis à la continuité du pare-air. C'est intégrée à des travaux de rénovation déjà prévus que la réfection s'avérera le plus rentable.

8.1 PRINCIPES DE CONCEPTION ET D'EXÉCUTION

La présente section traite des problèmes de conception et d'exécution de la réfection par l'intérieur. Les façons précises d'assurer un grand isolement thermique et une meilleure étanchéité sont exposées en 8.2, où on explique le détail des techniques pertinentes et les points à prendre en considération. Bien que chacune des techniques employées a ses avantages et ses inconvénients, le déroulement des programmes de réfection par l'intérieur demeure sensiblement le même.

Toute bonne réfection par l'intérieur comporte les étapes suivantes :

- préparation du mur,
- exécution de l'ossature,
- isolation,
- pose d'un pare-air et d'un pare-vapeur et
- finition.

Les alinéas qui suivent esquissent la conception et l'exécution de ces étapes, à la lumière des principes et théories avancés au chapitre 2.

8.1.1 Préparation du mur

L'entrepreneur doit d'abord déterminer si l'on peut conserver le revêtement intérieur. En règle générale, on le laissera en place lorsque la cavité murale renferme déjà de l'isolant ou qu'il n'y a pour ainsi dire aucune cavité murale (mur de maçonnerie, par exemple) et que la plomberie et le câblage électrique sont en bon état. On l'enlèvera par contre s'il faut ménager de l'espace supplémentaire pour isoler ou s'il faut modifier l'infrastructure intégrée au mur. Même lorsqu'il n'y a pas d'isolant dans le mur, ce peut être plus avantageux de conserver le revêtement mural. Dans ce cas, on peut toujours injecter de l'isolant dans la cavité.

Lorsqu'on n'enlève pas le revêtement, il faut voir s'il risque d'avoir l'effet d'un pare-air ou pare-vapeur extérieur, une fois la nouvelle ossature isolée mise en place. Si le mur originel comporte un pare-vapeur en polyéthylène (ce qui est peu probable dans les maisons de construction plus ancienne) ou s'il est recouvert de plusieurs couches de peinture à base d'huile, il faudra amoindrir l'efficacité de ce pare-vapeur, en y faisant des traits de scie ou en perçant des trous au haut et au bas pour que l'humidité qui pourrait y pénétrer s'échappe.

Infrastructure existante - Les murs de la maison sont parcourus de câbles électriques, de canalisations de plomberie, de conduites de ventilation et d'autres genres d'installations (figure 8.1), qu'il faudra le plus souvent réaménager dans le nouveau mur. Dans bien des cas, le simple bon sens et le *Code national du bâtiment* indiquent ce qu'il faut faire. Ainsi :

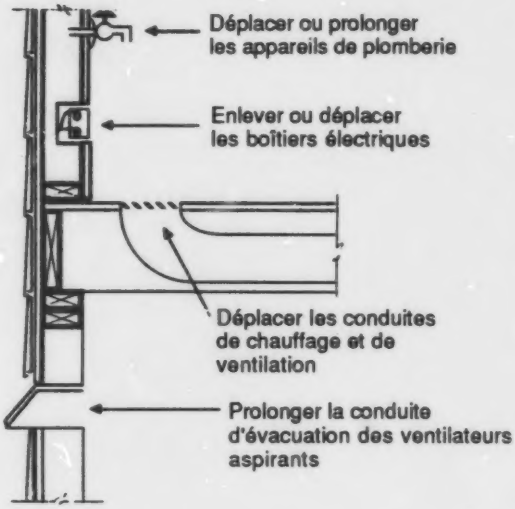


Fig. 8.1 Répercussions sur l'infrastructure

- Il faut réaménager les canalisations de plomberie et de chauffage à eau chaude dans le mur intérieur, afin d'éliminer tout risque de gel.
- On ne peut enfouir des boîtiers électriques sous tension dans le mur originel.
- Il faut ramener les conduites d'air chaud à l'intérieur du nouveau mur.
- On peut devoir prolonger la sortie des ventilateurs aspirants muraux, en y ajoutant un manchon du côté intérieur.

Bien que la plupart des travaux s'exécutent facilement, prolonger les fils des prises de courant et des interrupteurs pour réaménager ceux-ci dans le nouveau mur peut nécessiter un peu d'imagination (figure 8.2). Ne jamais oublier qu'on ne peut enfouir de boîtes de dérivation dans le mur. Tous les travaux d'électricité doivent, bien entendu, être exécutés en conformité des règlements locaux. Enfin, les modifications majeures de l'installation doivent être effectuées par un électricien compétent.

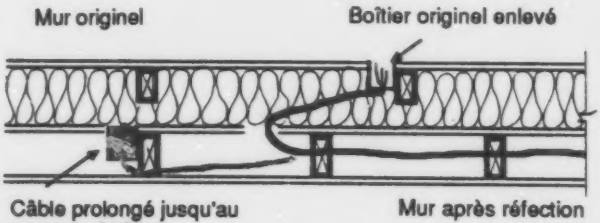
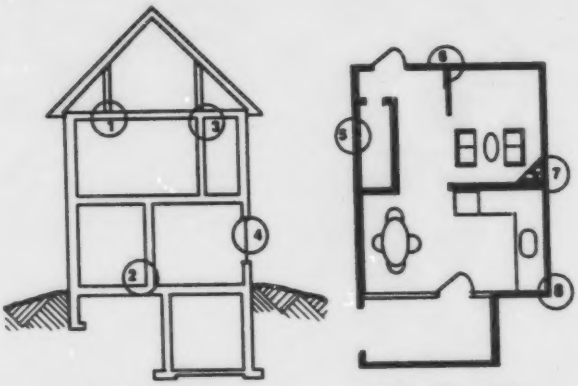


Fig. 8.2 Réaménagement des boîtiers dans le nouveau mur

Préparatifs de l'installation d'un pare-air continu - L'installation d'un pare-air continu peut nécessiter des préparatifs assez élaborés. Il faudra vraisemblablement enlever plusieurs obstacles, tels armoires, escalier ou meubles encastrés, pour faciliter la pose (figure 8.3). Toutefois, il faudra certainement doser l'augmentation du rendement thermique offerte par cette méthode en fonction du travail et des frais considérables qu'elle suppose. Quant on ne peut justifier cette façon de procéder, il devient très important de bien étancher les joints et les extrémités du pare-air.



Vue en coupe

Vue plongeante

1. Entretoit, murs nains
2. Cloisons touchant un plancher isolé
3. Cloisons touchant un plafond isolé
4. Fenêtres
5. Escaliers, entrées
6. Cloisons s'aboutant à un mur extérieur
7. Foyer et cheminée
8. Meubles encastrés, armoires, plomberie et installation électrique

Fig. 8.3 Obstacles à la continuité du pare-air

Il convient aussi de voir s'il est rentable d'assurer la continuité verticale et horizontale de la nouvelle enveloppe (figure 8.4). Quand on décide que le jeu en vaut la chandelle, voici comment procéder.

Continuité verticale

- La façon la plus simple d'avoir accès à l'espace entre les solives du plancher consiste à enlever le revêtement du plafond de l'étage inférieur.
- Essayer de ne pas dégager plus que l'espace correspondant à l'épaisseur escomptée du mur après réfection.
- On peut devoir installer de nouvelles cales lorsqu'on enlève le sous-plancher par le dessus.

Continuité horizontale

- Quand on enlève des panneaux de mur sec ou un revêtement de plâtre, toujours dégager l'ossature jusqu'au milieu d'un poteau pour assurer un appui solide au nouveau revêtement.
- Raccourcir la sablière et la lisse basse des cloisons intérieures pour qu'elles s'adaptent aux nouveaux murs extérieurs.
- Prendre des précautions lorsque les travaux touchent des murs porteurs; s'assurer que ces murs sont stables en tout temps.

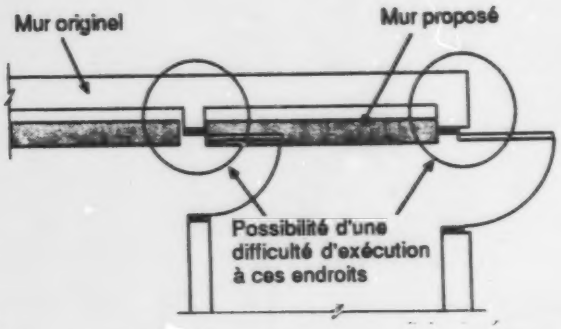


Fig. 8.4 Sources possibles de difficulté d'exécution

8.1.2 Exécution de l'ossature

Il y a bien des façons de construire l'ossature d'un nouveau mur intérieur. Cependant, peu importe la méthode employée, certains principes demeurent toujours vrais (figure 8.5). Ainsi, il faudrait :

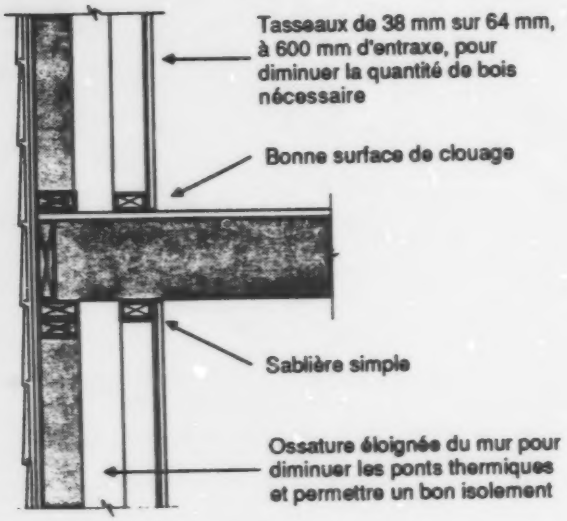


Fig. 8.5 Considérations relatives à l'ossature

- Employer du bois séché au four, afin de diminuer l'accumulation d'humidité dans le mur.
- S'assurer que l'ossature permet de mettre la quantité d'isolant requis.
- Employer le moins de bois possible - par exemple, des poteaux de 38 mm sur 64 mm, à 600 mm d'entraxe.
- Éviter le plus possible les ponts thermiques.
- Concevoir l'ossature en fonction de matériaux isolants standard.
- Étancher le pourtour de toute ouverture pratiquée dans le mur, y compris les prises de courant.
- S'assurer que l'ossature fournit un fond de clouage adéquat pour les panneaux de mur sec ou le revêtement choisi.
- Veiller à fournir un appui suffisant pour les plinthes, les boiseries de fenêtres, etc.

Trois techniques d'ossature murale sont expliquées en 8.2 :

- **L' ossature** dressée à distance du mur originel, pour permettre d'ajouter l'épaisseur d'isolant souhaitée, et fixée au mur originel au niveau de la sablière et de la lisse basse.
- **Le fond de clouage** horizontal ou vertical visant à ménager l'espace nécessaire pour ajouter l'épaisseur d'isolant souhaitée et
- **Le pan d'isolant rigide** constitué de panneaux isolants habituellement fixés par des profilés qui tiennent lieu de fond de clouage pour le revêtement de finition à mur sec.

8.1.3 Isolation

La plupart des techniques de réfection à ossature supposent l'emploi de nattes de fibres de verre, qui doivent être installées avec soin, selon les règles de l'art. Autant que possible, mettre deux couches d'isolant, l'une horizontale derrière les poteaux et l'autre verticale entre les poteaux ou les tasseaux du fond de clouage (figure 8.6).

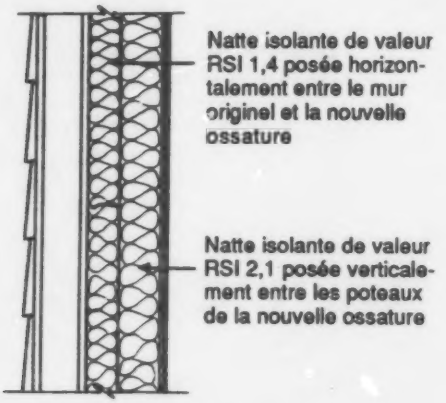


Fig. 8.6 Isolation en deux étapes

Mettre de l'isolant dans tous les endroits accessibles, y compris l'espace adjacent à la solive de rive ou de bordure. Comme on le signale au chapitre 2, la compression de l'isolant en réduit la valeur RSI réelle.

8.1.4 Pose d'un pare-air

L'objet de la réfection complète est d'envelopper la maison dans un pare-air continu. Il faut donc assurer la parfaite étanchéité du pare-air à ses joints, à ses extrémités et sur le pourtour des ouvertures qui y sont pratiquées. Le plus souvent, on installe un pare-air en polyéthylène de 0,15 mm d'épaisseur. On peut aussi employer des panneaux de mur sec comme pare-air et les peindre ou les recouvrir d'une pellicule métallique pour qu'ils servent de pare-vapeur. Sauf indication contraire, on suppose ici qu'un polyéthylène remplit la double fonction de pare-air et de pare-vapeur.

Fixer les joints et les extrémités du polyéthylène par des attaches mécaniques. Faire courir la première feuille 150 mm au-delà du support de fixation (poteau, par exemple) et appliquer un cordon continu de pâte de calfeutrage sur le polyéthylène, le long du support. Presser ensuite délicatement la deuxième feuille contre ce cordon et l'agrafer au support, à travers le cordon, tous les 150 mm. Enfin, clouer ou visser un élément rigide quelconque par-dessus le joint, pour le renforcer. Le plus souvent, les panneaux de mur sec remplissent cette fonction. Lorsqu'on ne pose pas immédiatement le revêtement mural par-dessus le polyéthylène, clouer des tasseaux par-dessus les joints pour les protéger (figure 8.7). Employer des feuilles de la plus grande dimension possible afin de limiter le nombre de joints.

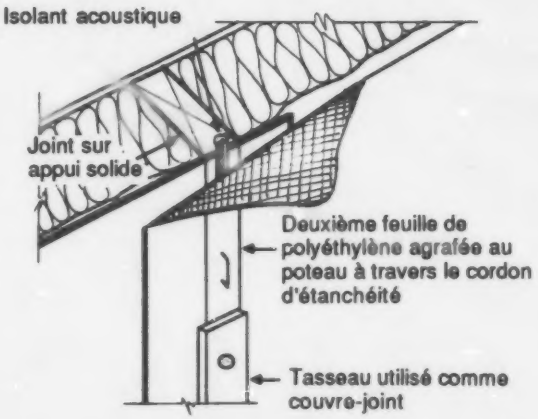


Fig. 8.7 Installation du polyéthylène

L'isolant acoustique est le matériau privilégié pour l'étanchéisation du polyéthylène. Il faut en effet employer un produit souple, qui ne durcit pas, pour que les joints de la membrane conservent leur étanchéité longtemps. Certains entrepreneurs préfèrent employer un ruban adhésif, renforcé lui aussi par la superposition du revêtement de mur sec ou d'un tasseau.

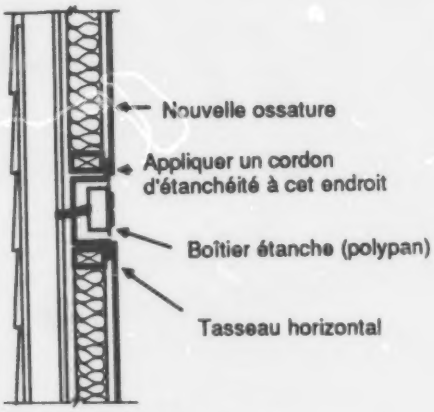
Éviter d'agrafer la membrane ailleurs qu'à ses joints et à ses extrémités. Il n'est pas nécessaire de la fixer à chaque poteau. Chaque agrafe risque d'ouvrir une voie de fuite.

Ne pas arrêter le polyéthylène au bord des cadres de porte et de fenêtre. Mieux vaut recouvrir ces ouvertures, en laissant du jeu à la membrane pour l'entailler ensuite et la fixer aux cadres. Le chapitre 9 donne tous les détails nécessaires à ce propos.

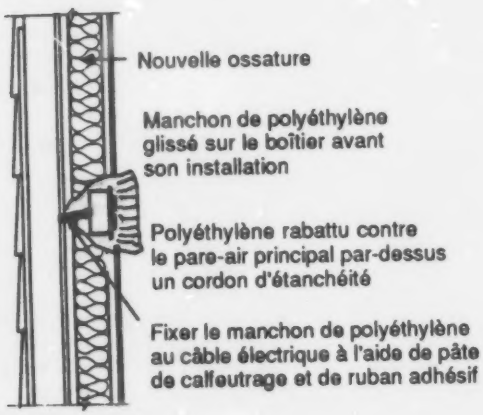
Toujours inspecter soigneusement le polyéthylène avant de le recouvrir. Appliquer un ruban adhésif par-dessus les déchirures, les petits trous et les joints défectueux. Couvrir les trous de plus grande dimension d'une pièce de polyéthylène. S'efforcer alors de faire déborder la pièce sur un support massif, auquel on l'agrafera à travers un cordon de pâte de calfeutrage.

Il faut aussi étancher le pare-air sur le pourtour de toutes les ouvertures pratiquées dans l'enveloppe - boîtiers électriques et appareils d'éclairage, canalisations de plomberie, évents, conduites, câble de télévision ou lignes téléphoniques, par exemple.

Il y a différents moyens d'étancher les boîtiers électriques traversant le pare-air posé à la surface du mur intérieur. Souvent, on peut recouvrir tout le boîtier d'un manchon de polyéthylène dont une extrémité est fixée au câble électrique par du ruban adhésif et l'autre est rabattue et raccordée au pare-air principal par un joint étanche. L'opération est toutefois assez compliquée. Mieux vaut placer le dispositif dans un boîtier étanche acheté dans le commerce ou fabriqué sur place. La seule ouverture de ce boîtier est celle par laquelle passe le câble et elle devrait être calfeutrée. Il faut aussi raccorder le pare-air et pare-vapeur mural au devant du boîtier par un joint étanche (figure 8.8). Lorsqu'on emploie un boîtier préfabriqué qui n'assure pas un bon appui pour le panneau de mur sec, glisser un contreplaqué entre les poteaux pour fournir cet appui.



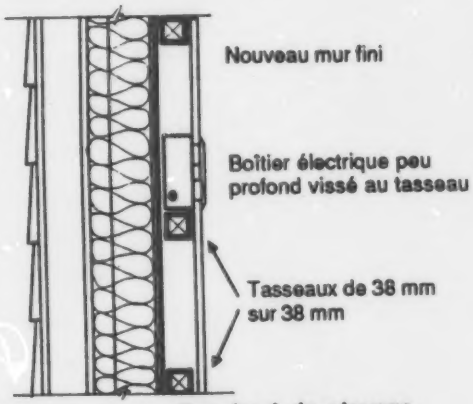
Boîtier étanche (polypan)



Polyéthylène

Fig. 8.8 Étanchéisation des prises de courant

La façon recommandée d'assurer l'étanchéité, qui est aussi la plus simple, consiste à mettre des tasseaux en travers des poteaux par-dessus le pare-air. On peut alors placer les boîtiers électriques à l'intérieur du pare-air dans la niche ménagée par les tasseaux (figure 8.9).



Vue en coupe d'un fond de clouage

Fig. 8.9 Étanchéisation des prises de courant

Les canalisations de plomberie traversant le pare-air doivent passer à travers un panneau de contreplaqué monté à fleur du bord intérieur des montants. L'ouverture du pare-air doit s'adapter à celle du contreplaqué et le joint être étanché au moyen d'un produit d'étanchéité souple. On peut aussi monter sur le contreplaqué une garniture de butylcaoutchouc à travers laquelle on fera passer la canalisation.

Procéder de la même façon pour les conduites d'air et les évents (figure 8.10). Façonner un collier de contreplaqué autour de la conduite et calfeutrer le pourtour de l'orifice à l'aide d'un produit d'étanchéité souple. Agrafer ensuite le pare-air au contreplaqué à travers un cordon de pâte de calfeutrage pour assurer un joint étanche.

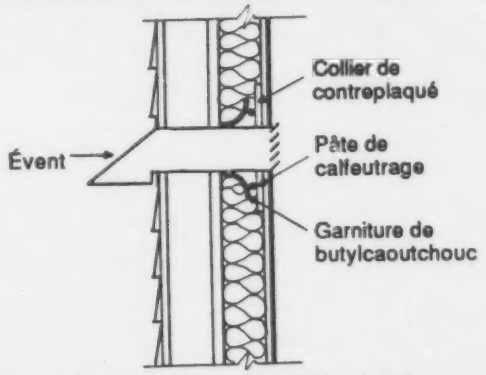


Fig. 8.10 Étanchéisation du tour d'un évent

Comme on l'a déjà mentionné, le pare-air peut aussi être fait de panneaux de mur sec dont le pontage assure l'étanchéité. L'étanchéisation du pourtour des ouvertures qui y sont pratiquées se fait de la même façon que pour le pare-air de polyéthylène. Toutefois, la sablière, la lisse basse et le joint du mur et du plancher sont alors difficiles à étancher.

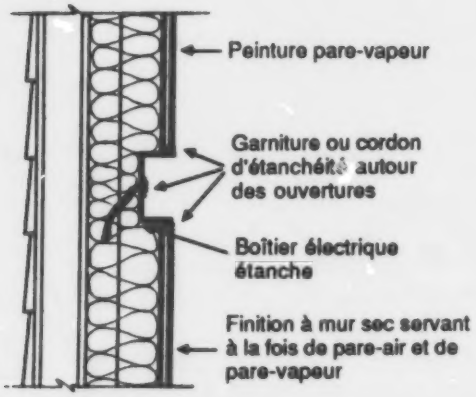


Fig. 8.11 Finition à mur sec étanche

On préservera l'intégrité du pare-air en panneaux de mur sec, en insérant chaque boîtier électrique qui le traverse dans un boîtier étanche dont on calfeutre les joints avec le panneau environnant. Le plus souvent, on utilisera à cette fin une garniture qui, agrafée, assurera un joint souple et durable.

Pour ajouter le pare-vapeur de type 2 exigé par le Code du bâtiment , on peut employer diverses combinaisons de peintures, telles deux couches de peinture à l'huile ou des panneaux de mur sec doublés d'une pellicule métallique, ou étendre du polyéthylène placé sous les panneaux de mur sec.

8.1.5 Finition

La finition du mur se fait selon les pratiques usuelles, sauf qu'il faut faire particulièrement attention de ne pas endommager le pare-air et le pare-vapeur.

Tirer un trait au cordeau pour démarquer l'emplacement des poteaux ou du fond de clouage, afin d'être certain de visser les panneaux de mur sec au bois.

Découper les panneaux avant de les installer (figure 8.12): on risque de déchirer le polyéthylène quand on le fait après les avoir mis en place.

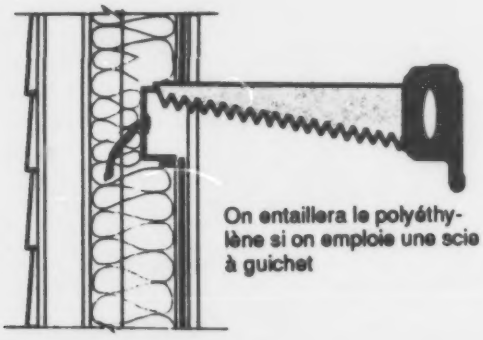


Fig. 8.12 Protection du pare-air

8.2 MÉTHODES D'ISOLATION POSSIBLES

On indique aux chapitres 3, 4 et 5 les critères d'évaluation qui doivent guider l'entrepreneur et le propriétaire au cours de la réfection. Les pages qui suivent donnent le détail de l'exécution des travaux. On y présente le travail d'ensemble, en faisant valoir la méthode de conception et d'exécution recommandée pour la réfection du mur. On donne aussi, le cas échéant, des variantes de la méthode générale.

Sans doute, l'entrepreneur modifiera-t-il lui-même les méthodes expliquées ci-après pour rendre compte des particularités régionales au plan des matériaux et de la main-d'oeuvre. Il est d'ailleurs encouragé à le faire, dans la mesure où il tient compte des problèmes et considérations élémentaires de la conception d'une bonne enveloppe.

Il est entendu que l'entrepreneur connaît et utilise les principes et méthodes d'une bonne construction. Aucune explication de la pose du revêtement intérieur ou extérieur n'est donc donnée ici. On n'explique pas non plus les techniques élémentaires du bâtiment, telles les différentes méthodes de clouage, les techniques de construction d'ossature, etc. Quiconque n'est pas un professionnel du bâtiment et désire se renseigner à ce sujet trouvera un bon exposé élémentaire des techniques du bâtiment dans le manuel intitulé *Construction de maison à ossature de bois - Canada* , mentionné en annexe B.

Les techniques d'ossature et d'isolation thermique expliquées ci-après sont les suivantes :

8.2.1 Nouvelle ossature
8.2.2 Fond de clouage
8.2.3 Pan d'isolant rigide

8.2.1 Nouvelle ossature (figure 8.13)

Selon cette technique de réfection par l'intérieur, il faut dresser une nouvelle ossature en bois de 38 mm sur 64 mm ou 89 mm à l'intérieur du mur existant. La nouvelle ossature peut être assemblée au sol, sablière et lisse basse y comprises. On ménage aussi les ouvertures brutes des portes et des fenêtres avant de la redresser.

Les poteaux peuvent être assemblés à 600 mm d'entraxe, et l'ossature doit avoir de 6 mm à 10 mm de moins que la hauteur sous plafond afin qu'on puisse la glisser en place. On la stabilise ensuite en insérant des cales entre sa sablière et les solives du plafond.

L'emplacement de la nouvelle ossature dépend de la quantité d'isolant à installer. Lorsqu'on entend poser un isolant à valeur RSI 3,5, le bord intérieur de la nouvelle ossature se trouvera à 140 mm de celui du mur originel. L'addition d'isolant à valeur RSI 4,9 porte cette distance à 190 mm. La nouvelle ossature est clouée au sous-plancher et aux solives sous-jacentes, ainsi qu'aux solives du plafond de l'étage au-dessus.

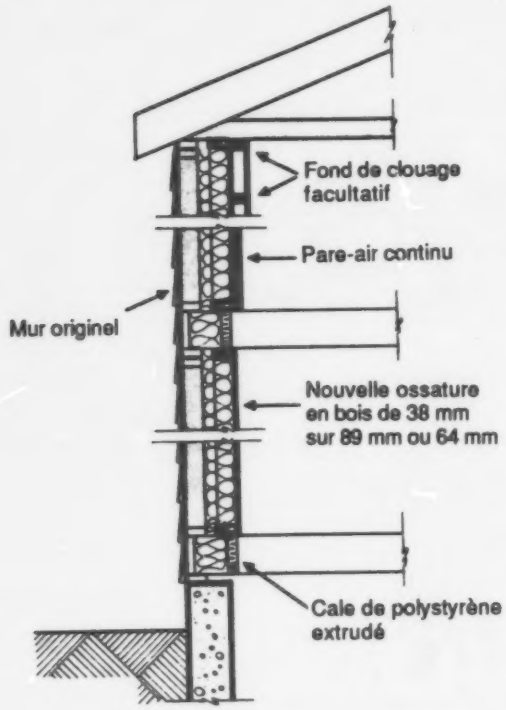


Fig. 8.13 Ossature superposée au mur intérieur

La pose de l'isolant se fait en deux étapes. On place d'abord une couche d'isolant horizontalement entre le mur originel et l'arrière de l'ossature, puis on en ajoute une deuxième couche, verticalement, entre les poteaux de cette dernière. On peut combiner des nattes de valeurs RSI 2,4 et 1,4 ou 3,5 et 1,4 dans une ossature en bois de 38 mm sur 64 mm.

Les ouvertures brutes (fenêtres, portes, etc.) sont revêtues de contreplaqué ou de panneaux de mur sec.

Lorsqu'on installe un nouvel équipement d'infrastructure (électricité et plomberie) au cours de travaux de rénovation majeure, on évitera de perforer le polyéthylène en ajoutant un fond de clouage. L'installation d'un fond fait d'éléments de 38 mm sur 38 mm ménage, entre le polyéthylène et la finition intérieure, une niche où faire passer le câblage électrique et les canalisations de plomberie. Clouer les tasseaux par-dessus l'ossature, à 600 mm d'entraxe. On peut, si on le désire, mettre une autre couche d'isolant, à l'horizontale, dans cette nouvelle cavité.

Continuité du pare-air

La nouvelle ossature se trouve à quelques centimètres en deçà du mur originel. Assurer la continuité du pare-air et de l'isolant thermique de pièce en pièce et d'un étage à l'autre constitue donc le plus gros problème de la réfection par l'intérieur.

Continuité horizontale

On peut assurer la continuité du pare-air et de l'isolant entre deux pièces, en raccourcissant la cloison mitoyenne de manière à pouvoir installer ces deux membranes d'une seule venue. Découper le revêtement mural de la cloison - panneau de mur sec ou plâtre - jusqu'au milieu du premier poteau, afin d'en faciliter la réparation une fois les travaux terminés. Raccourcir ensuite la lisse basse et la sablière de la cloison pour installer l'isolant, le pare-air et le revêtement du nouveau mur extérieur, sans les interrompre au niveau de la cloison. Enfin, réparer l'extrémité de la cloison, en posant un panneau mural, fixé au poteau de cloison dégagé au début des travaux et à une cale ou à des attaches ajoutées au nouveau mur extérieur.

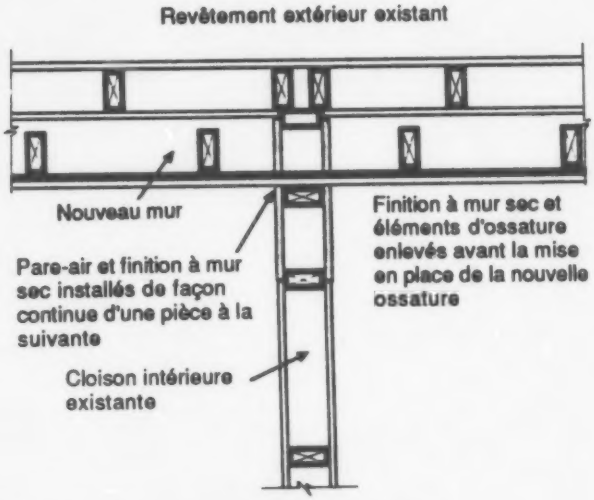


Fig. 8.14 Continuité horizontale du pare-air

Continuité verticale

Assurer la continuité de l'isolant et, surtout, celle du pare-air entre les étages est assez compliqué. C'est plus facile lorsque les travaux de rénovation supposent l'"évidemment" de la maison. La plupart du temps, mieux vaut s'en tenir à isoler et étancher l'espace entre les solives, par-dessous, sans toucher au sous-plancher et au revêtement de sol.

Pour ce faire, il faut habituellement enlever une partie du plafond de l'étage inférieur. Lorsque les solives sont parallèles au mur extérieur, il suffit d'enlever le revêtement jusqu'au centre de la rive de la première solive (figure 8.15).

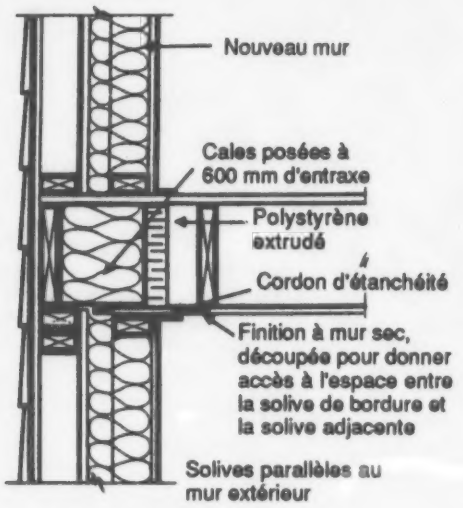


Fig. 8.15 Continuité verticale du pare-air

Quand les solives sont perpendiculaires au mur, ne les dégager que sur une largeur correspondant à l'épaisseur du nouveau mur extérieur : cela simplifiera les travaux de réparation par la suite (figure 8.16). Après avoir dégagé l'espace entre les solives, l'isoler et l'étancher au moyen d'isolant rigide, de nattes de fibres de verre placées dans des sacs de polyéthylène ou d'uréthane pulvérisé. L'isolant rigide doit être mis à serre et étanché à son joint avec les solives et le sous-plancher par l'application d'un cordon d'isolant acoustique. Étant donné le peu d'espace, l'entrepreneur peut devoir mettre l'isolant directement contre la solive de bordure ou de rive afin de pouvoir calfeutrer.

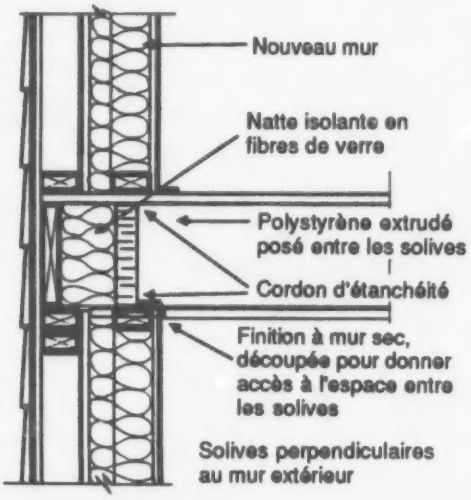


Fig. 8.16 Continuité verticale du pare-air

Pour assurer un joint étanche, fixer le polyéthylène directement à l'isolant rigide inséré dans l'espace entre les solives. Lorsque l'isolant est appuyé contre la solive de bordure ou de rive, on peut devoir ajouter une bande de polyéthylène pour raccorder l'isolant de l'espace entre les solives au pare-air principal posé sur le mur. Il faut alors fixer cette bande, à travers un cordon d'étanchéité, à la face inférieure des solives et à l'isolant et la maintenir en place par un morceau de bois ou un tasseau. On peut l'agrafer temporairement au plafond en attendant d'installer la nouvelle ossature. L'étanchéisation du polyéthylène assure la continuité du pare-air.

Continuité verticale - "évidement"

Il est beaucoup plus facile d'assurer la continuité de l'isolant et du pare-air, lorsqu'on enlève tous les revêtements intérieurs. On peut alors sans difficulté poser et étancher ces membranes, une fois les solives à découvert. Quand les solives sont parallèles au mur extérieur, ajouter une bande de polyéthylène pour relier le pare-air de l'étage supérieur à celui de l'étage inférieur (figure 8.17). Lorsque les solives sont perpendiculaires au mur extérieur, la meilleure solution consiste à combiner des panneaux d'isolant rigides et du polyéthylène, à la manière décrite ci-dessus.

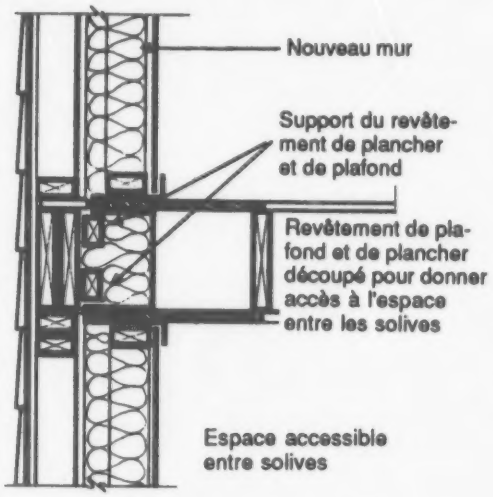


Fig. 8.17 Continuité verticale du pare-air

8.2.2 Fond de clouage

Cette technique de réfection par l'intérieur suppose l'installation d'un fond de clouage sur le mur originel. Elle peut aussi servir de complément à la technique expliquée ci-dessus. Employée seule, elle permet d'ajouter de l'isolant et d'améliorer l'étanchéité. Combinée à la technique précédente, elle sert surtout à faciliter l'installation d'un pare-air continu.

Le fond de clouage augmente l'épaisseur du mur existant et permet d'en augmenter l'isolement thermique (figure 8.18). Il est rarement valable d'employer cette technique seule, mais il s'agit d'un complément justifiable, lorsqu'on renouvelle l'isolant d'une cavité murale. Quand on doit poser un nouveau revêtement mural, il est facile d'augmenter l'isolement du mur, particulièrement d'un mur à ossature. (La plupart des murs de maçonnerie ne laissent pas suffisamment d'espace pour qu'on installe plus qu'un isolant monté sur tasseaux de 18,5 mm d'épaisseur).

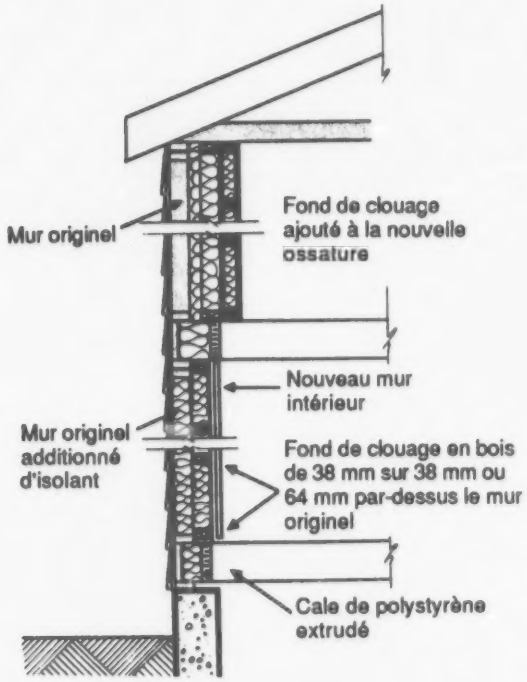


Fig. 8.18 Ossature superposée au mur intérieur

La plupart des procédés traditionnels d'isolation thermique font appel à l'une des techniques que voici.

L' injection de fibres de verre, de laine minérale ou de fibres cellulosiques peut se faire sans causer trop de dérangements aux occupants de la maison (figure 8.19). Les matériaux isolants sont injectés directement dans les cavités murales originelles, à la manière traditionnelle. L'exécution doit être conforme aux prescriptions de l'Office des normes générales du Canada, énoncées dans les publications 51-GP-44MP et 51-GP-45MP intitulées respectivement *Installateurs d'isolant thermique en fibre cellulosique soufflée en vrac* et *Installateurs d'iso'ant thermique en fibre minérale soufflée en vrac* .

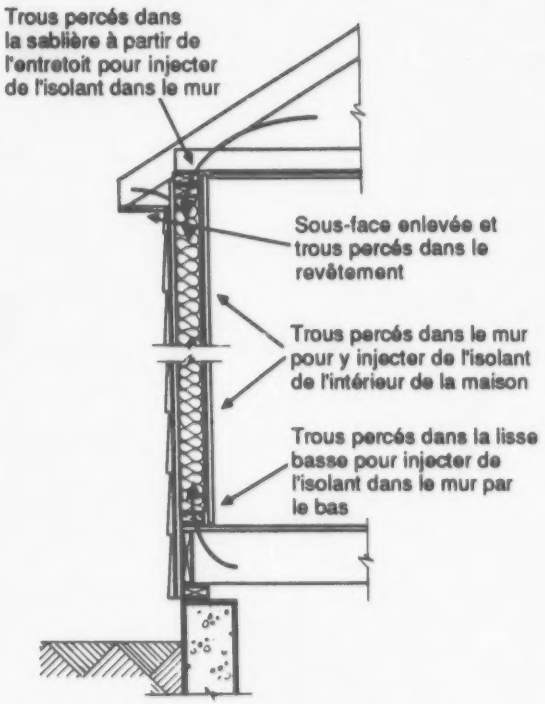


Fig. 8.19 Points d'injection d'isolant dans le mur

La réfection de l'isolement à l'aide de nattes de fibres de verre ou de laine minérale oblige à enlever le revêtement intérieur. Bien que cela ne pose pas vraiment de difficulté dans les maisons où l'on fait des modifications majeures, la saleté et le chaos qui en résultent seront fort peu appréciés des occupants, si la maison est habitée pendant les travaux. On peut plus facilement justifier la mise à nu de l'ossature murale quand l'isolement thermique est médiocre, parce que la maison a été construite il y a longtemps ou que l'isolant s'est détérioré (humidité, MIUF, etc.). L'emploi des bonnes techniques de pose, décrites au chapitre 2, assurera le bon ajustement de l'isolant dans le mur.

Après avoir augmenté l'isolement thermique de l'une des façons mentionnées ci-dessus, poser une membrane de polyéthylène qui tiendra lieu de pare-air et pare-vapeur. Le procédé expliqué ci-après peut compléter la technique d'ossature murale décrite en 8.2.1. Posé avant le fond de clouage, le pare-air et pare-vapeur combiné se trouve enfoui dans l'ossature et est moins susceptible d'être endommagé pendant les travaux (figure 8.20). Assurer la continuité verticale et horizontale à la manière décrite à la section précédente.

On peut se servir de bois de 38 mm sur 38 mm ou 64 mm (figure 8.21) pour faire le fond de clouage. La pose de tasseaux de 38 mm sur 64 mm sur chant donnera un peu plus d'espace pour mettre de l'isolant, mais ce genre d'installation est plus difficile. Toujours respecter la règle 1/3 - 2/3 d'emplacement du pare-vapeur. Il faudra bien entendu doser l'agrandissement de la cavité murale en

fonction de la perte de superficie qui en découlera. Peu importe les dimensions du bois, l'entrepreneur devra s'assurer que celui-ci est droit et d'épaisseur uniforme; sinon, il pourrait avoir de la difficulté à poser le revêtement intérieur par la suite.

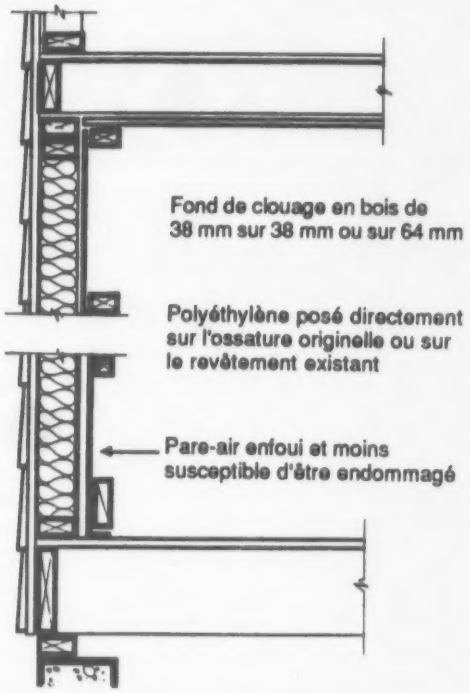


Fig. 8.20 Fond de clouage par-dessus le nouveau pare-air

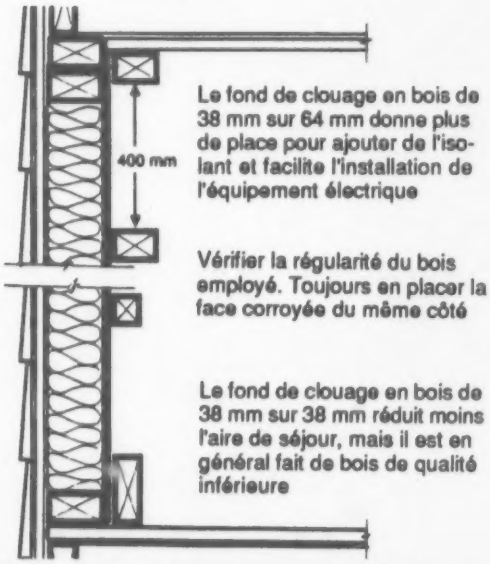


Fig. 8.21 Dimensions et espacement des éléments du fond de clouage

Les tasseaux peuvent être placés à 400 mm ou 600 mm d'entraxe. L'entraxe de 600 mm risque toutefois de favoriser la flexion du revêtement et obligera vraisemblablement à employer des panneaux de revêtement plus épais. D'un autre côté, l'entraxe de 400 mm augmente les frais de matériaux et de main-d'oeuvre.

Placer les tasseaux de façon à permettre l'aménagement du câblage électrique, des canalisations de plomberie, des appareils, ainsi que du revêtement mural et des boiseries. Prévoir des appuis pour les éléments suivants.

Plinthes - Mettre au bas du mur un élément de plus grandes dimensions, qui servira d'appui à la plinthe. Le plus simple est de mettre un tasseau de 38 mm sur 89 mm ou d'ajouter un tasseau de 38 mm sur 38 mm à hauteur du bord supérieur de la plinthe (figure 8.22).

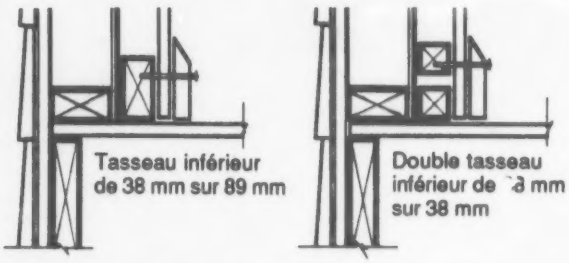


Fig. 8.22 Appui de la plinthe

Fenêtres - Ajouter aussi des tasseaux ou des cales autour des fenêtres pour y fixer les panneaux muraux. Ces cales serviront d'appui au seuil et au prolongement de chambranle, de même qu'aux boiseries et à l'encadrement (figure 8.23).

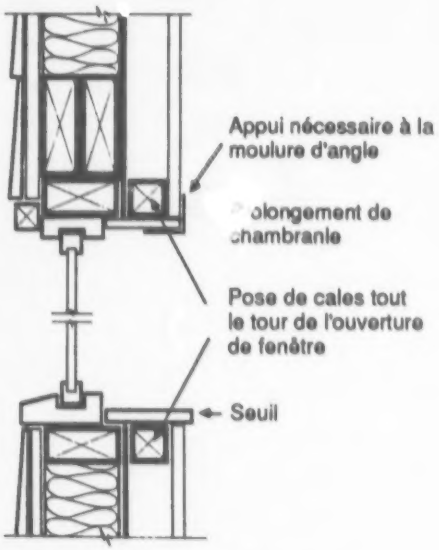


Fig. 8.23 Pose de cales autour des fenêtres

Angles - On peut devoir ajouter des cales à tous les angles pour les renforcer. Fixer les cales verticales aux poteaux d'angle ou employer des agrafes pour panneaux de mur sec afin de limiter le nombre de cales nécessaires (figure 8.24).

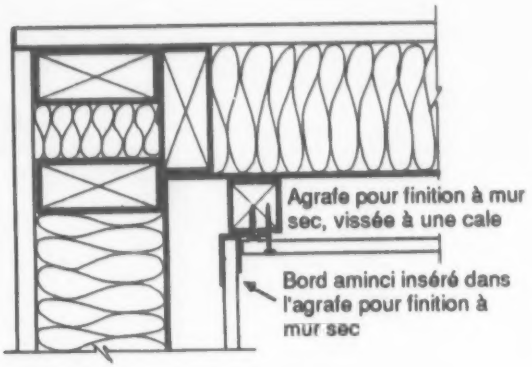


Fig. 8.24 Exécution des angles

Plomberie et boîtiers électriques - Les canalisations de plomberie qui sortent du mur doivent avoir un point d'appui. Ce peut être une cale posée verticalement sur l'ossature du mur originel. Les boîtiers électriques des prises de courant et des interrupteurs doivent aussi être appuyés contre un montant quelconque. Ces cales se superposent aux poteaux de l'ossature originelle.

Une fois le fond de clouage et les cales en place, l'entrepreneur peut isoler les espaces intermédiaires ou se limiter à les camoufler en posant un revêtement mural. L'addition d'isolant contribuera à diminuer les pertes de chaleur, mais l'entrepreneur devrait en évaluer les avantages en fonction du coût d'obtention et d'installation du matériau.

Poser de l'isolant dans un espace de 38 mm de profondeur peut présenter certaines difficultés. Il n'y a pas, à l'heure actuelle, de nattes isolantes de 38 mm d'épaisseur sur le marché. Aussi, quand on veut employer de l'isolant en nattes, il faut refendre une natte plus épaisse (RSI 1,4). Non seulement cela prend-il du temps, mais c'est aussi assez désagréable. Par contre, il est facile de se procurer des nattes convenant à un fond de clouage fait d'éléments de 38 mm sur 64 mm. Une autre solution consiste à mettre de l'isolant rigide entre les tasseaux. Toutefois, les cales, le câblage électrique et les canalisations de plomberie qui encombrent la cavité murale compliqueront souvent la tâche. Enfin, l'installation de panneaux de mur sec doublés d'une pellicule métallique, par-dessus la cavité murale vide, peut aussi augmenter le rendement énergétique; toutefois, le rendement thermique de ce genre de matériau diminuera vraisemblablement à mesure que la pellicule métallique s'empoussiérera.

La finition du mur sur fond de clouage se fait selon les pratiques usuelles du bâtiment. Comme les panneaux muraux doivent être placés perpendiculairement aux éléments de l'ossature, il faudra les poser verticalement, ce qui a l'inconvénient de produire des joints verticaux. Au besoin, découper les panneaux avant de les poser pour éviter d'entamer le polyéthylène nouvellement mis en place.

8.2.3 Pan d'isolant rigide

Cette technique de réfection suppose l'addition de panneaux isolants rigides à la face intérieure des murs extérieurs et convient à un isolement thermique maximal de valeur RSI 3,5. Il devient en effet difficile de fixer le revêtement mural lorsqu'on dépasse cette valeur. Par contre, l'emploi d'isolant rigide a l'avantage de permettre un meilleur isolement dans un espace restreint et d'éliminer la construction d'une ossature.

Tout comme le fond de clouage, qui se superpose à la face intérieure du mur, le pan d'isolant rigide permet à l'entrepreneur d'ajouter à l'isolant mural existant, surtout dans le cas d'une construction à ossature de bois.

Les matériaux convenant à ce genre de travail ont été décrits en détail au chapitre 5. Les plus propices sont le polystyrène expansé ou extrudé, le polyuréthane et le polyisocyanurate, quoiqu'on peut aussi en employer d'autres. Le choix du matériau dépendra essentiellement de l'isolement recherché et du coût des diverses possibilités.

Comme le montre la figure 8.25, il y a plusieurs façons de fixer l'isolant rigide au mur originel. L'entrepreneur doit s'assurer que les attaches choisies permettront d'assujettir le revêtement de finition à l'ossature. Si l'épaisseur de l'isolant rigide risque de gêner cette opération, on devra songer à poser un fond de clouage intermédiaire.

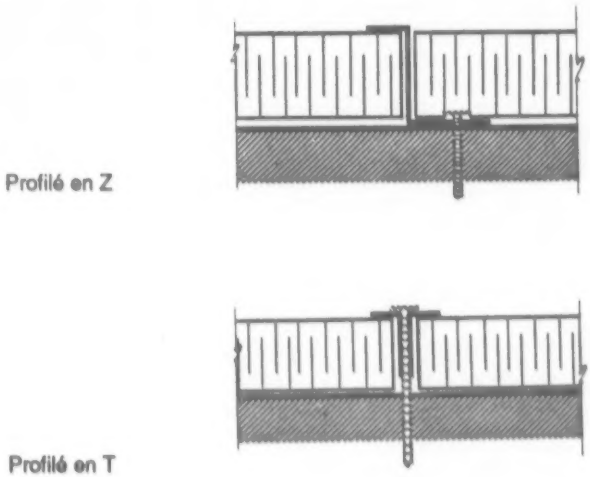


Fig. 8.25 Attaches mécaniques

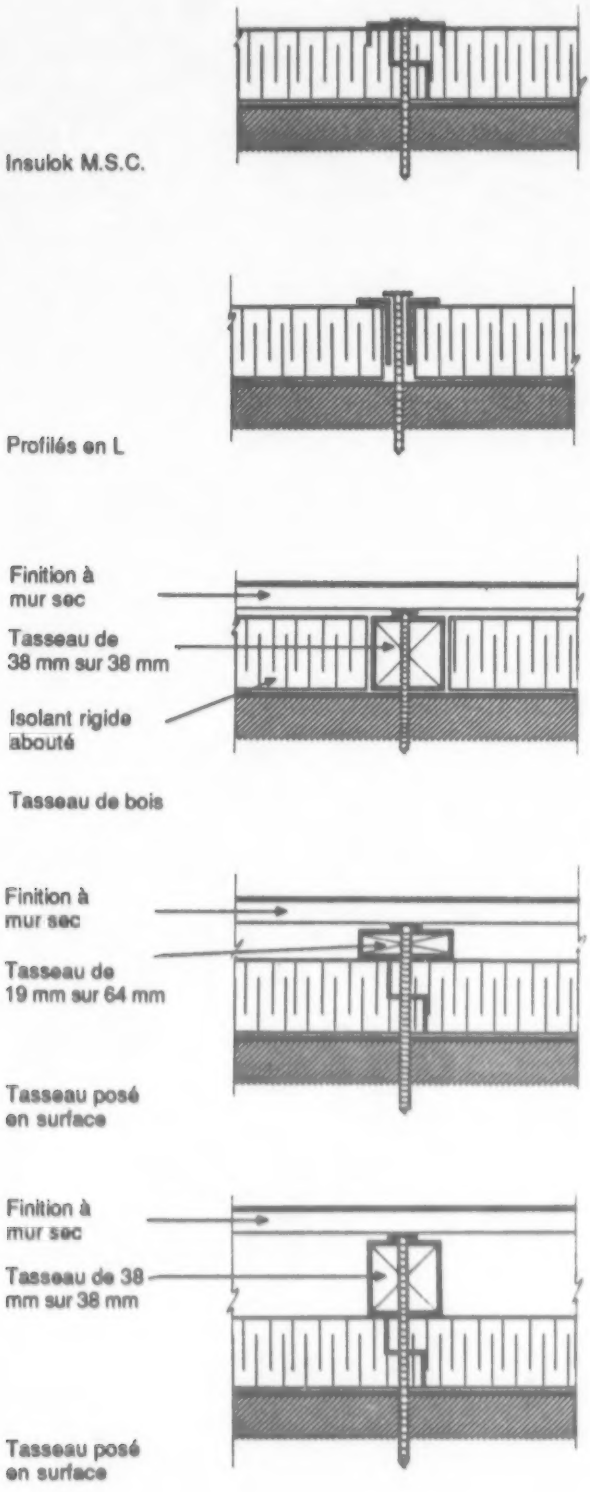


Fig. 8.25 Attaches mécaniques (suite)

Quand on installe une double épaisseur d'isolant rigide, la première couche peut être installée sans qu'on ne s'inquiète outre mesure de ses appuis, pourvu que la deuxième permette de fixer mécaniquement le revêtement de finition à l'ossature. Lorsque c'est le cas, on peut fixer la première couche d'isolant avec du mastic.

L'entrepreneur qui combine l'isolant rigide à un fond de clouage doit tenir compte de l'entraxe normal du fond de clouage. Il lui faudra refendre l'isolant pour l'ajuster aux espaces entre les tasseaux. Ce découpage doit être exécuté avec soin pour limiter la circulation d'air entre les tasseaux et l'isolant. Une autre solution consiste à employer des panneaux isolants feuillurés, ce qui permet de respecter les entraxes prescrits pour le fond de clouage et l'isolant.

L'isolant rigide convient mal à un mur inégal ou chargé d'installations d'infrastructure. En effet, alors que les matériaux souples s'adaptent assez bien aux irrégularités du mur et au contour des canalisations et installations, la plupart des matériaux rigides obligent à des précautions supplémentaires. Ainsi, toute irrégularité du mur peut altérer le rendement de l'isolant, en laissant derrière un vide propice à la circulation d'air. L'application d'une grille de mastic sur le mur, avant d'y mettre l'isolant, aidera à pallier le problème (figure 8.26).

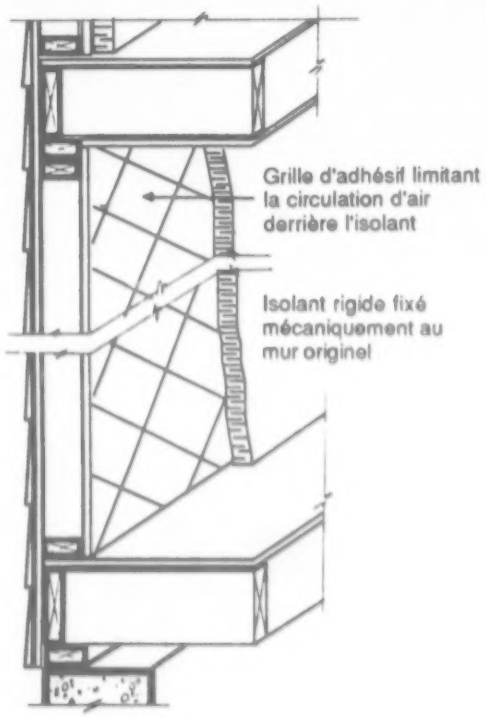


Fig. 8.26 Restriction de la circulation d'air

L'adaptation des panneaux isolants rigides au câblage électrique et aux canalisations de plomberie est aussi plus complexe. Lorsqu'on déplace des prises de courant, pour les mettre à fleur de la nouvelle surface de mur, il faut leur ménager d'autres appuis. On peut devoir en outre entamer le dos de l'isolant pour l'adapter aux canalisations et câblages qui courent le long du mur (figure 8.27).

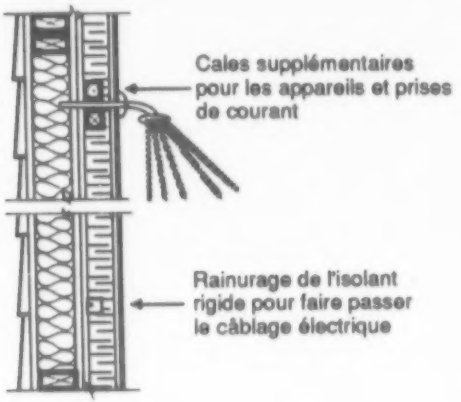


Fig. 8.27 Installation électrique et plomberie

Il y a diverses façons d'aménager un pare-air et un pare-vapeur quand on pose de l'isolant. D'abord, on peut étendre un polyéthylène directement par-dessus l'isolant avant de mettre le revêtement mural en place. Le polyéthylène sert de pare-air et de pare-vapeur et on en assure la continuité verticale et horizontale de la manière indiquée en 8.2.1.

Quand l'isolant est peu perméable (quand il fait obstacle au passage de la vapeur d'eau), il n'y a qu'à ajouter un pare-air. Pour cela, il peut suffire d'étancher soigneusement les joints des panneaux rigides, à l'aide de pâte de calfeutrage ou de ruban adhésif. Quand on entend employer une pâte de calfeutrage comme produit d'étanchéité, il faut d'abord juxtaposer les panneaux avec soin, pour limiter les interstices et les possibilités de mouvement. Les rubans adhésifs étant un peu plus élastiques, ils s'adaptent à des fentes légèrement plus larges.

Dans l'un et l'autre cas, l'entrepreneur doit néanmoins s'assurer que la technique d'étanchéisation choisie convient au matériau isolant employé. Au besoin, ne pas hésiter à communiquer avec le représentant technique du fabricant et étancher tous les joints verticaux de l'isolant, de même que le joint qu'il forme avec le plafond et le plancher.

F2

9

FENÊTRES

Exécutés de l'intérieur ou de l'extérieur, les travaux de réfection majeurs donnent l'occasion d'évaluer les fenêtres et de les améliorer ou de les remplacer. Il convient d'ailleurs, dans le cadre d'une réfection de la maison entière, d'examiner ces moyens d'augmenter le rendement.

Les pages qui suivent traitent des problèmes les plus courants dans le cas des fenêtres et de la possibilité d'y remédier au cours de travaux de réfection importants. On y indique les critères d'évaluation pertinents et les moyens d'améliorer ou de remplacer les fenêtres.

9.1 DIFFICULTÉS ET POSSIBILITÉS

Les fenêtres d'une maison peuvent être la source de plusieurs problèmes. Leur mauvais ajustement enlève beaucoup de confort au foyer, car il permet l'infiltration d'air froid et, du même coup, des pertes de chaleur considérables. Les fenêtres à simple vitrage d'autrefois et un grand nombre de modèles à double vitrage favorisent par ailleurs la condensation et le givre. Or, non seulement cela n'est-il pas attrayant, mais l'accumulation d'eau qui en résulte sur le cadre et sur le seuil risque aussi de causer des dommages. Enfin, si, de surcroît, les fenêtres sont mal orientées, l'occupant peut :

- ne pas avoir assez d'éclairage naturel,
- subir les effets de gains d'énergie solaire excessifs ou
- ne pas pouvoir profiter pleinement du paysage environnant.

La réfection complète donne l'occasion de remédier à ces problèmes. Elle peut changer le fonctionnement de la maison et, de ce fait, modifier le rendement des fenêtres. L'isolation et l'étanchéisation de la maison peuvent :

- faire s'accroître l'humidité et, par conséquent, favoriser la condensation et le givre sur les fenêtres et
- accentuer les problèmes de réchauffement excessif sous l'action du soleil, étant donné qu'elles diminuent les pertes de chaleur.

Un bon programme de réfection permettra néanmoins de:

- diminuer les fuites d'air autour des fenêtres, par une bonne étanchéisation du pare-air;
- réaménager les fenêtres pour mieux profiter de la vue, de l'éclairage naturel et des gains d'énergie solaire et mettre en valeur l'aménagement intérieur;
- poser de nouvelles fenêtres à meilleur rendement thermique, pour économiser l'énergie et diminuer les problèmes de givrage et de condensation.

9.2 CONSIDÉRATIONS CONCEPTUELLES

L'évaluation complète des fenêtres repose sur cinq grandes considérations que voici :

- structure,
- rendement thermique,
- gains d'énergie solaire,
- caractéristiques architecturales et
- fonctionnement et sécurité.

9.2.1 Structure

Les fenêtres peuvent être endommagées par :

- les intempéries,
- les ruissellements et la pluie battante,
- les contraintes exercées sur les panneaux de verre ou le vitrage étanche,
- les écarts de température de part et d'autre du vitrage et
- la condensation sur leur face intérieure.

Aussi, quand on en fait l'évaluation, il importe de chercher pourquoi les matériaux ont fait défaut, afin que l'unité de remplacement dure plus longtemps.

Il y a un avantage à faire l'évaluation de toutes les fenêtres de la maison. Exception faite de celles qui donnent au sud, les fenêtres seront vraisemblablement toutes dans le même état. En comparant leur état relatif, on pourra donc plus facilement découvrir et diagnostiquer les problèmes graves découlant des particularités de chacune - soin manquant, par exemple.

Les fenêtres qui donnent au sud font exception, car elles sont exposées à de plus grands écarts de température et à un rayonnement solaire plus intense. En règle générale, elles se détériorent plus rapidement. Il peut en être de même des fenêtres sans cesse exposées à une grande humidité, telles les fenêtres de cuisine et de salle de bains.

9.2.2 Rendement thermique

Les fenêtres constituent le maillon le plus faible de l'enveloppe thermique de la maison. Même une bonne fenêtre a une valeur isolante égale à 10 % seulement de celle d'un mur raisonnablement isolé. On peut toutefois en augmenter le rendement thermique, en éliminant les principales voies de perte de chaleur.

Fuites d'air

Les principales voies de fuite d'air des fenêtres sont indiquées à la figure 9.1. Ce sont :

- le joint du châssis et du cadre,
- le joint du vitrage et du châssis et
- le joint du cadre et de l'ouverture brute.

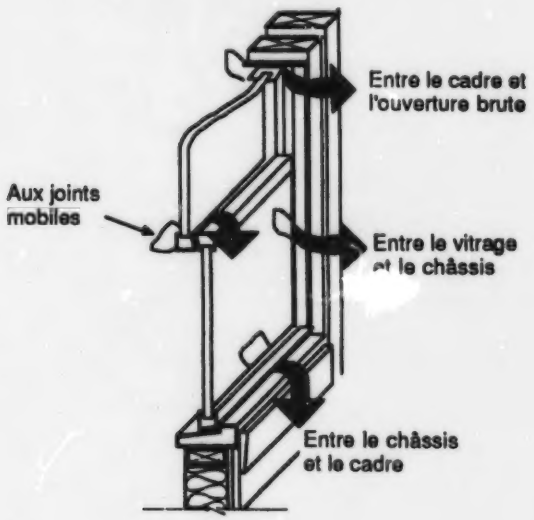


Fig. 9.1 Fuites d'air par les fenêtres

Une bonne exécution des travaux de réfection peut diminuer les fuites d'air autout des fenêtres. L'application de pâte de calfeutrage et de coupe-bise améliorera par ailleurs le rendement de leurs autres joints (figure 9.2). Le manuel intitulé *Étanchéisation des maisons aux fins de l'économie d'énergie*, mentionné en annexe B, donne de bons conseils à ce propos.

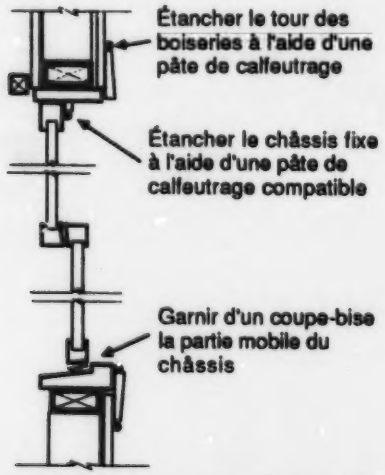


Fig. 9.2 Calfeutrage et pose de coupe-bise

Conduction

- Le verre est un piètre isolant : il transfère la chaleur par conduction. Le transfert de la chaleur dans l'espace qui sépare les panneaux de verre d'une même fenêtre se fait par conduction, convection et rayonnement. Or on peut :
  - diminuer la conduction par des gaz,
  - réduire la convection, en multipliant les espaces entre les panneaux (figure 9.3) ou en y injectant des gaz inertes et
  - limiter le transfert de chaleur par rayonnement, par l'application d'un enduit à faible émissivité.

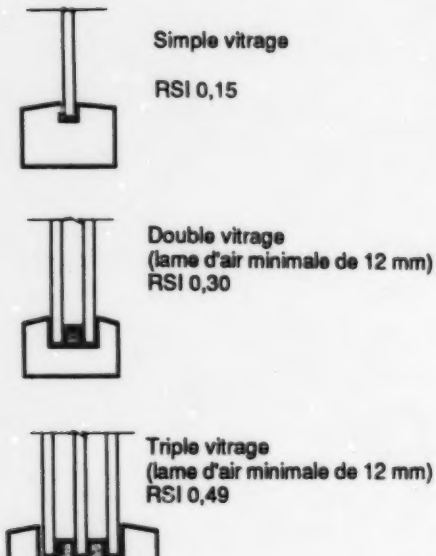


Fig. 9.3 Diminution des pertes de chaleur par le vitrage

- Le châssis et le cadre sont les deux autres principaux points de perte de chaleur par conduction dans une fenêtre. Le métal est bien meilleur conducteur de chaleur que le bois ou le plastique. Les fenêtres à cadre de métal devraient donc comporter une barrière thermique qui fera obstacle à la conduction (figure 9.4). S'il se forme du givre du côté intérieur d'une fenêtre à cadre métallique, c'est qu'il n'y a pas de barrière thermique ou que celle-ci est insuffisante.

- Tout dépendant du matériau espaceur employé, il peut aussi y avoir des pertes par conduction, au bord des vitrages scellés.

Fig. 9.4 ***Barrière thermique intégrée aux cadres de métal***

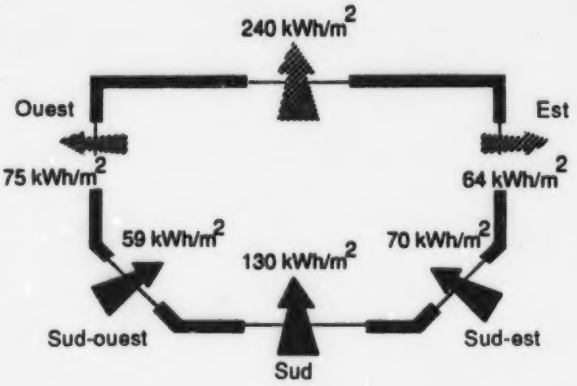
9.2.3 Gains d'énergie solaire

Les fenêtres peuvent, selon leur orientation, être une source de gains ou de pertes énergétiques nets. On ne peut en faire l'évaluation complète sans considérer leur répartition dans l'enveloppe de la maison, en vue de maximiser les gains solaires possibles (jusqu'à un certain point) et de limiter la climatisation en été.

Les fenêtres donnant au sud marquent les gains d'énergie solaire les plus élevés. Celles qui sont orientées vers un point situé à moins de 30 degrés du sud permettent aussi des gains énergétiques nets importants. En revanche, les fenêtres est ou ouest sont, sauf si elles sont d'un modèle à haut rendement, sources de pertes énergétiques nettes pendant la saison froide. Il est en outre difficile de les protéger du soleil en été. Enfin, les fenêtres orientées vers le nord sont celles où l'on relève les plus grosses pertes d'énergie (figure 9.5).

Selon les calculs de la superficie des fenêtres de la maison à "très haut rendement énergétique", les fenêtres sud devraient, idéalement, représenter de **6 % à 9 %** de la superficie totale de la maison (figure 9.6). Une maison construite avec des matériaux standard peut absorber les gains d'énergie solaire résultant d'un tel vitrage, sans connaître d'écarts de température excessifs ni être surchauffée.

Les fenêtres sud devraient faire 50 % du vitrage de la maison, alors que celles des faces nord et ouest devraient ne couvrir qu'une superficie très limitée. Idéalement, il ne devrait pas y avoir de fenêtres de ces côtés.



Gains et pertes d'énergie nets attribuables à des fenêtres à double vitrage, selon l'orientation. Calculs fondés sur les données d'une saison moyenne de chauffage à Toronto.

Fig. 9.5 ***Orientation des fenêtres et circulation de la chaleur***

Le vitrage sud ne devrait pas représenter plus de 10 % de l'aire habitable de la maison

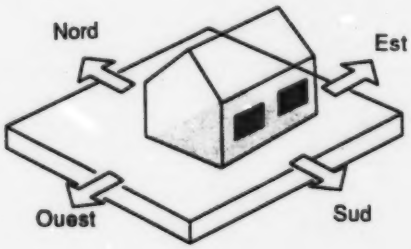


Fig. 9.6 ***Superficie des fenêtres sud***

L'évaluation des gains et pertes d'énergie solaire doit tenir compte de l'ombre (figure 9.7). Il y aura vraisemblablement apport excessif de chaleur si on augmente la superficie des fenêtres sud, sans les ombrager, ou si, au cours de la réfection, on supprime, sans les remplacer, les éléments qui surplombent les fenêtres.

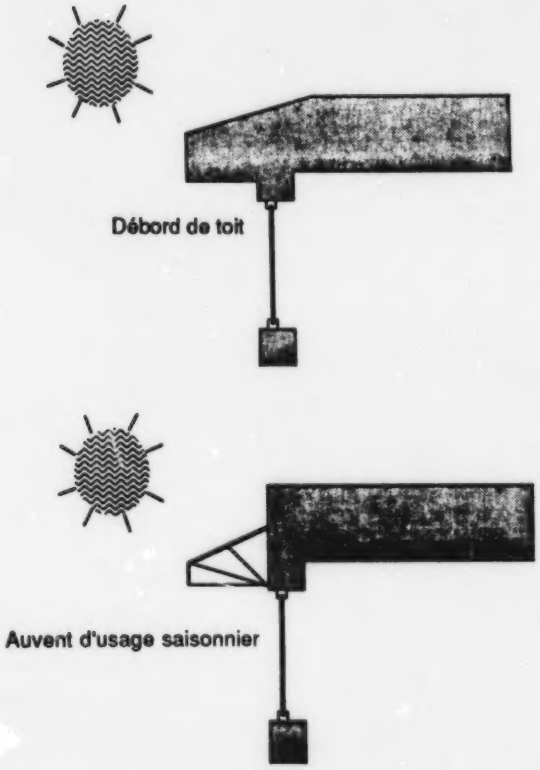


Fig. 9.7 Protection des fenêtres contre le soleil

9.2.4 Caractéristiques architecturales

Les travaux de réfection donnent l'occasion de remplacer ou de déplacer des fenêtres pour améliorer l'aspect de la maison. C'est le moment par excellence de voir comment chacune des fenêtres existantes contribue à la ventilation et à l'éclairage naturel, permet de jouir du paysage environnant et ajoute à l'architecture d'ensemble.

Quand on entend modifier la répartition des fenêtres, il faut tenir compte de l'apport de chacune à la climatisation naturelle de la maison. Il doit y avoir des fenêtres qui s'ouvrent dans toutes les parties de l'immeuble, afin qu'on puisse créer des courants d'air pendant les mois les plus chauds (figure 9.8). L'entrepreneur pourrait donc profiter des travaux de rénovation ou de réfection pour déplacer ou remplacer des fenêtres afin de laisser entrer la brise.

Par ailleurs, il devrait automatiquement songer à réaménager les fenêtres pour maximiser l'éclairage naturel et permettre aux occupants de profiter du paysage, quand il entreprend une réfection majeure. Il est plus facile d'effectuer ces changements quand on apporte déjà d'autres modifications à l'enveloppe.

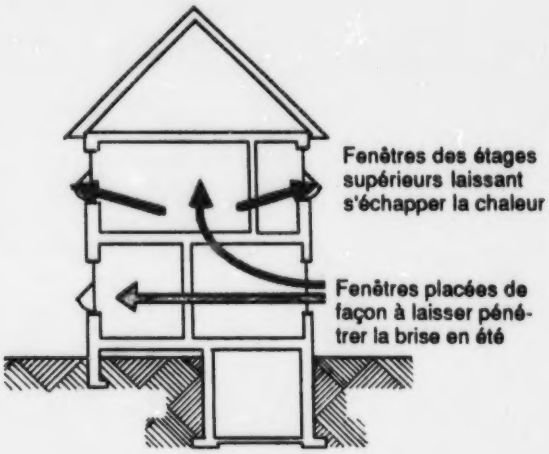


Fig. 9.8 Emplacement des fenêtres propice à une bonne ventilation

Enfin, toute modification majeure de la façade doit tenir compte de l'apparence de l'immeuble. Autant que possible, conserver à la maison ses caractéristiques architecturales ou historiques et prendre son apparence en considération lorsqu'on commande et installe ou remplace des fenêtres.

9.3 REMPLACEMENT

Il y a plusieurs avantages à remplacer les fenêtres plutôt que de les rénover. On peut :

- en changer les dimensions ou l'emplacement pour augmenter l'apport solaire ou maximiser certaines caractéristiques conceptuelles, telle l'utilisation de l'éclairage naturel;
- y substituer des modèles à meilleur rendement énergétique;
- choisir des modèles et matériaux plus durables qui demandent moins d'entretien.

9.3.1 Considérations conceptuelles

Il faut équilibrer esthétique, rendement et coût. Bien que le remplacement de fenêtres installées il y a longtemps en augmentera en général le rendement beaucoup plus que ne le permettrait leur rénovation - du moins, si on choisit un produit de qualité -, l'achat de nouvelles fenêtres est souvent trop coûteux pour que le rendement énergétique suffise à le justifier.

On légitimera le plus facilement le remplacement des fenêtres quand toutes les conditions énoncées ci-après sont réunies.

- Les châssis, cadres ou ouvertures brutes sont endommagés.
- Les fenêtres ne donnent pas assez de clarté ni de ventilation et ne permettent pas de profiter de la vue.
- La réfection s'intègre à d'autres travaux de rénovation supposant le réaménagement de l'habitation et le déplacement ou l'addition de fenêtres.
- La réfection fait partie de travaux d'embellissement visant à transformer l'aspect extérieur de la maison, et les fenêtres existantes ne conviennent pas au style qu'on veut donner à celle-ci.

Au moment d'acheter, l'entrepreneur devra tenir compte des dimensions, du modèle, du vitrage, des matériaux employés pour le cadre et de la conception de la fenêtre.

Dimensions

À moins d'être obligé de conserver aux fenêtres leurs dimensions originelles, on peut économiser en achetant des fenêtres de dimensions standard et en élargissant ou rétrécissant les ouvertures brutes en conséquence. Il faut par ailleurs répartir les fenêtres de façon à optimiser les gains d'énergie solaire.

Modèle

Le modèle de fenêtre choisi dépend de l'endroit où celle-ci sera située, de la facilité d'entretien et de son utilisation éventuelle pour la ventilation. Du seul point de vue du rendement énergétique, les fenêtres fixes sont préférables, car elles sont en général plus étanches. Parmi les modèles qui s'ouvrent, la fenêtre-auvent et la fenêtre à battants sont préférables, car elles ferment plus hermétiquement. En règle générale, on déconseille les fenêtres à guillotine et les fenêtres à coulissement horizontal.

Vitrage

La sélection du vitrage d'une nouvelle fenêtre doit tenir compte des points suivants :

- nombre de carreaux - à tout le moins un double vitrage;
- espacement des vitrages - au moins 12 mm dans le cas d'un vitrage scellé
- choix du matériau de vitrage - bien que le verre ordinaire soit encore le plus courant, beaucoup de fabricants font maintenant des fenêtres à double ou triple vitrage comportant un carreau de verre ou de plastique enduit d'un revêtement réfléchissant la chaleur, ce qui améliore beaucoup les propriétés isolantes de la fenêtre;
- mode d'étanchéisation du tour de la fenêtre;
- emploi facultatif de gaz dans l'espace intercalaire - certains fabricants injectent maintenant dans l'espace intercalaire un gaz peu conducteur qui augmente la valeur RSI réelle de la fenêtre.

Cadre

La conception du cadre et du châssis et les matériaux employés influent sur le rendement thermique de la fenêtre.

- Le choix d'un cadre de bois ou de vinyle ou d'un cadre de métal comportant une barrière thermique permet de limiter la conduction thermique par le châssis et par le cadre.
- Par ailleurs, la conception même de la fenêtre et l'emploi de coupe-bise et de systèmes de fermeture de qualité contribueront à limiter les fuites d'air à la jonction du châssis ouvrant et du cadre.

Néanmoins, le choix du cadre ne dépend pas seulement du rendement thermique : il est aussi fonction de l'aspect d'ensemble de l'immeuble.

9.4 RÉNOVATION

Il y a deux grandes façons d'augmenter le rendement thermique d'une fenêtre : diminuer les fuites d'air et augmenter la valeur isolante du vitrage. On explique ici divers moyens d'y parvenir, en indiquant l'efficacité de chacun.

9.4.1 Étanchéisation (figure 9.9)

L'étanchéisation est le moyen le plus simple et le moins coûteux de rénover une fenêtre. Elle s'exécute en quatre étapes que voici :

- isolation et étanchéisation de l'espace entre le cadre de fenêtre et l'ouverture brute;
- pose d'une garniture à tous les joints mobiles entre le châssis et le cadre;
- installation de quincaillerie et de dispositifs de fermeture permettant d'assurer la compression adéquate de la garniture, lorsque le châssis est fermé;
- étanchéisation de tous les joints du châssis et du verre.

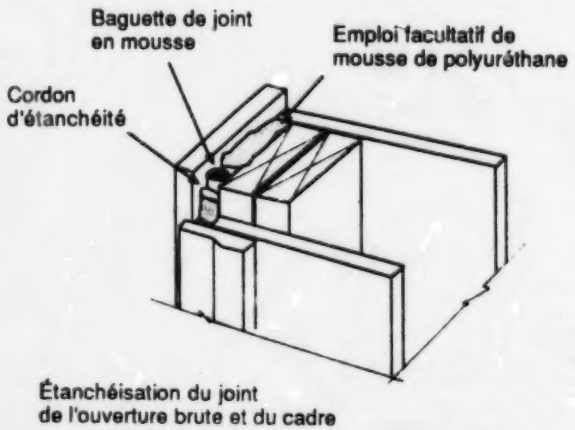


Fig. 9.9 Étanchéisation du pourtour des fenêtres

Beaucoup d'autres techniques de rénovation visent à diminuer les fuites d'air entre le châssis et le verre, mais peu d'entre elles permettent de diminuer aussi les fuites d'air qui se produisent au joint du châssis et du cadre et à celui du cadre et de l'ouverture brute.

La réfection complète des murs de la maison oblige à enlever les boiseries de fenêtres, puis à les remettre à la surface du nouveau mur. **Il faudrait donc profiter de l'occasion pour, à tout le moins, isoler le joint de l'ouverture brute et du cadre mis à nu et y fixer le pare-air mural de façon étanche.**

L'étanchéisation améliorera le rendement, en diminuant les fuites et les courants d'air - d'où une maison plus confortable - et en rendant la fermeture des fenêtres plus hermétique.

9.4.2 Remplacement du vitrage

Cette technique de réfection consiste à remplacer le vitrage existant par un vitrage étanche, à meilleur rendement. Monter le nouveau vitrage dans le châssis originel ou dans l'ouverture des fenêtres fixes. Si le châssis est en mauvais état, le remplacer en même temps que le vitrage, en conservant le cadre originel.

Le remplacement du vitrage offre toutes sortes de possibilités au propriétaire. L'entrepreneur devrait donc s'inspirer des considérations énoncées en 9.3.1 pour guider son client dans le choix du vitrage qui convient. La grande variété des produits en marché l'obligera peut-être même à se renseigner lui-même davantage.

Les principaux avantages du remplacement du vitrage sont les suivants :

- diminution des fuites d'air autour du châssis, lesquelles sont la source du piètre rendement de la fenêtre;
- amélioration du rendement thermique de la fenêtre et augmentation conséquente du confort de la maison pour ses occupants;
- diminution des frais d'entretien.

9.4.3 Addition d'un vitrage

Il y a deux façons d'ajouter un vitrage à l'intérieur d'une fenêtre : on peut ajouter carreau simple ou installer un double vitrage étanche quand la profondeur du châssis ou du cadre le permet.

Dans l'un et l'autre cas, le vitrage simple originel devient partie intégrante d'un double vitrage permanent et il faut assurer la ventilation de l'espace séparant les deux éléments pour permettre à l'humidité qui pourrait s'y infiltrer de s'échapper (figure 9.10).

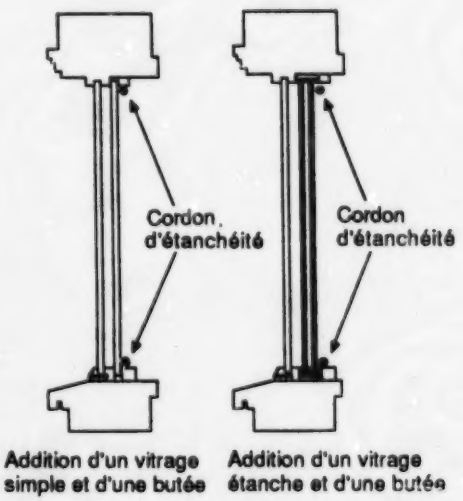


Fig. 9.10 Addition de vitrage

Ajouter un vitrage a le même effet que de remplacer le vitrage originel. Toutefois, même quand on ventile l'espace intercalaire, il est possible qu'il s'y forme de la condensation et un dépôt de crasse.

9.4.4 Contre-châssis intérieur

L'utilisation de contre-châssis intérieurs suppose l'installation d'un vitrage transparent saisonnier en deçà de la fenêtre existante. Il y a en marché différents produits qui peuvent convenir, depuis les feuilles thermorétractables qu'on jette en fin de saison jusqu'au plastique rigide et au verre plus durable. Les contre-châssis intérieurs ont les avantages suivants :

- Installés par-dessus le joint du cadre de fenêtre et du mur, ils contribuent à diminuer les fuites d'air par la fenêtre.
- Ils augmentent aussi la valeur isolante de cette dernière. La température à la surface du vitrage intérieur étant plus élevée et les ponts thermiques par le cadre étant réduits, les problèmes de condensation excessive s'en trouvent aussi diminués.

Avant d'acheter des contre-châssis intérieurs, il faut toutefois peser les considérations suivantes :

- L'installation d'un contre-châssis fixe interdit l'emploi de la fenêtre pour la ventilation. L'addition d'une butée permettra d'installer le contre-châssis par section et de continuer à ouvrir la fenêtre.
- Le choix limité des modèles et des couleurs de baguettes de fixation placées sur le mur ou la boiserie de fenêtre peut changer l'apparence de cette dernière.

9.4.5 Contre-châssis extérieurs

Les contre-châssis extérieurs en bois ou en métal sont très courants. Bien qu'ils peuvent augmenter la valeur isolante des fenêtres, il ne faudrait pas les employer pour stopper les fuites d'air. Le joint d'étanchéité principal doit toujours se trouver à l'intérieur. C'est pourquoi l'installation de ce genre de contre-châssis suppose toujours la ventilation de l'espace qui le sépare de la fenêtre, au moyen d'ouvertures donnant à l'extérieur.

Quand on envisage cette solution, il faut tenir compte des points suivants :

- L'apparence des contre-châssis peut ne pas s'agencer avec celle de l'extérieur du bâtiment.
- Il y aura moins de condensation sur le vitrage originel, mais il pourrait s'en former sur le vitrage du contre-châssis, tout dépendant des fuites d'air de la fenêtre principale.

9.5 POSITIONNEMENT ET INSTALLATION

Qu'on remplace ou qu'on rénove les fenêtres, il faut toujours porter attention à l'exécution du détail. Pour donner le meilleur rendement possible, le cadre de fenêtre doit être joint au pare-air du mur. Il faut en outre poser un nouveau solin et un pare-intempéries pour assurer la durabilité des matériaux du mur et de la fenêtre.

9.5.1 Positionnement

La réfection complète amène un épaississement des murs de la maison. Les fenêtres, qui se trouvaient centrées par rapport à l'épaisseur du mur initial, sont maintenant plus près de la face intérieure ou extérieure de l'enveloppe thermique.

La réfection par l'extérieur "enfonce" en général les fenêtres dans le mur, ce qui a pour avantages :

- de mettre le cadre de fenêtre dans la moitié intérieure du mur et
- d'améliorer la circulation d'air contre le carreau de verre à l'intérieur, le gardant plus chaud et réduisant la condensation.

Il faudra toutefois ménager un seuil extérieur profond et un bon solin pour protéger les matériaux du mur et le cadre de fenêtre des dommages causés par l'eau (figure 9.11).

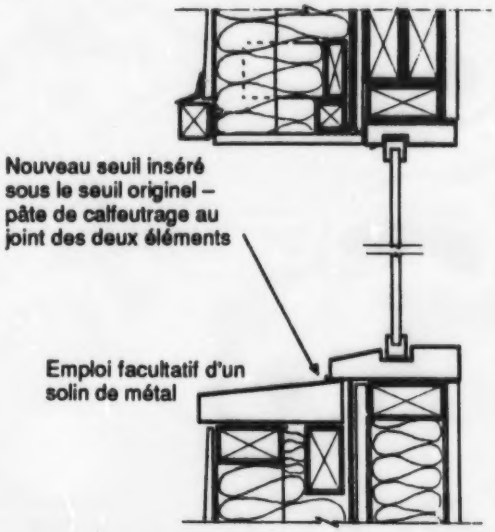


Fig. 9.11 Seuil extérieur profond

La réfection par l'intérieur décentre en revanche la fenêtre vers l'extérieur de l'enveloppe (figure 9.12), ce qui a pour avantages :

- de faciliter la protection contre les intempéries et
- d'ajouter du cachet, à l'intérieur, en mettant la fenêtre en retrait.

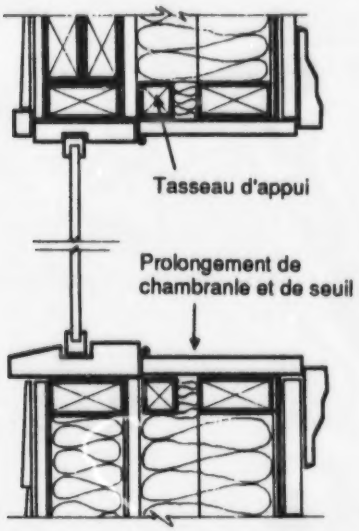


Fig. 9.12 Seuil intérieur profond

Toutefois, tout dépendant de la valeur isolante du vitrage, il peut continuer d'y avoir condensation sur la fenêtre.

Quand on remplace une fenêtre, on peut placer la nouvelle unité plus près de l'intérieur ou de l'extérieur du mur refait. Pour les raisons données ci-dessus, on la décentrera habituellement vers l'extérieur. Comme la fenêtre de remplacement comporte un vitrage à meilleure valeur isolante, la condensation posera rarement un problème. Si, toutefois, on craignait que ce ne soit le cas, on pourrait imperméabiliser le seuil de la fenêtre pour limiter les dommages.

9.5.2 Installation

On ne peut considérer la rénovation terminée tant qu'on n'a pas étanché le joint de la fenêtre et du pare-air mural pour assurer la continuité de celui-ci. Les paragraphes qui suivent expliquent comment y parvenir.

Fenêtre neuve - Il est possible de mettre une fenêtre neuve dans l'ouverture existante et d'assurer une bonne étanchéité. Que la réfection se fasse par l'intérieur ou par l'extérieur, il est recommandé de mettre dans l'embrasure un revêtement qui fera l'épaisseur du mur entier. Après avoir posé le revêtement et l'avoir fixé au pare-air, par un joint étanche, on peut mettre la fenêtre en n'importe quel point de l'ensemble et la finir selon les exigences du propriétaire.

Les principales étapes de ce genre d'installation sont les suivantes :

- Enlever la boiserie de fenêtre ou le couvre-joint extérieur.
- Enlever la fenêtre et le cadre de fenêtre.
- Poser un revêtement de contreplaqué de 13 mm d'épaisseur dans l'embrasure et le raccorder par un joint étanche au pare-air (figure 9.13). - Lorsque la réfection s'exécute de l'extérieur, fixer le contreplaqué par un joint étanche au polyéthylène qui déborde dans l'ouverture brute de la fenêtre. Quand la réfection se fait de l'intérieur, rabattre le pare-air de polyéthylène sur le contreplaqué et l'y fixer de façon étanche par l'application d'un cordon d'isolant acoustique.
- Mettre ensuite la fenêtre à la profondeur voulue dans l'embrasure. Son positionnement au bord extérieur constitue la méthode la plus courante et offre une meilleure protection contre les intempéries.

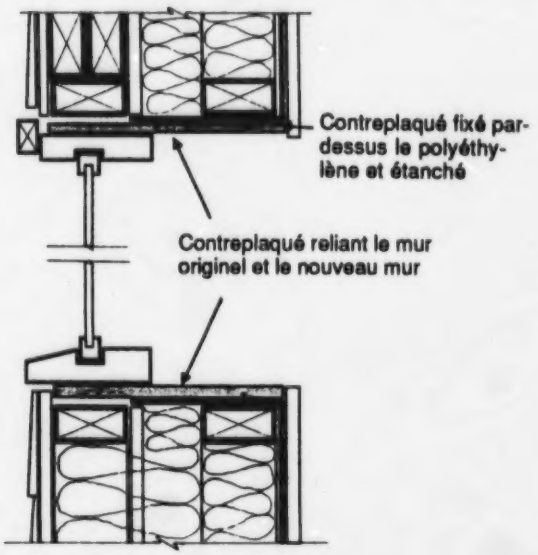


Fig. 9.13 Revêtement d'embrasure en contreplaqué

- Du côté intérieur, finir le seuil en panneaux de mur sec, en bois ou en carreaux céramiques. Lorsque le seuil extérieur est profond, songer à le recouvrir d'un solin de métal (figure 9.14).

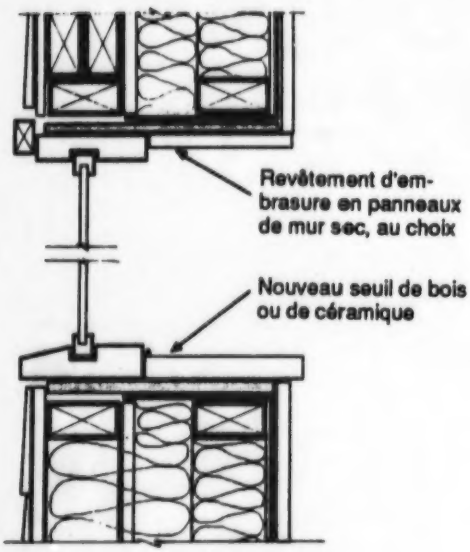


Fig. 9.14 Nouvelle finition intérieure

Enveloppe de polyéthylène - Un autre moyen d'assurer l'étanchéité aux abords d'une fenêtre consiste à envelopper celle-ci de polyéthylène avant de l'installer et à raccorder cette enveloppe au pare-air principal intérieur, par un joint étanche. Cette méthode convient le mieux dans le cas d'une réfection par l'intérieur. Son exécution est illustrée à la figure 9.15.

- Enlever la boiserie.
- Mettre une bande de 300 mm à 400 mm de polyéthylène autour de la fenêtre, l'agrafant au cadre à travers un cordon d'étanchéité et la repliant aux angles, à la manière illustrée.
- Mettre ensuite la fenêtre en place et rabattre le polyéthylène à l'intérieur.
- Fixer le polyéthylène au pare-air mural par un joint étanche.
- Installer les prolongements de seuil et de chambranle.

Fenêtres existantes - Il importe d'éliminer les fuites d'air entre le cadre et l'ouverture brute, même quand on garde les fenêtres originelles. Pour ce faire, il faut agrafer le nouveau pare-air au cadre, à travers un cordon d'étanchéité. Cette technique demeure valable, que la réfection se fasse par l'intérieur ou par l'extérieur, quoique sa séquence d'exécution peut varier quelque peu.

Réfection par l'extérieur

- Au moment d'installer le pare-air en polyéthylène, s'assurer qu'il fait corps avec le cadre de fenêtre. À cette fin, mettre un cordon de pâte de calfeutrage entre le polyéthylène et le cadre dénudé et entre le polyéthylène et le dessous du seuil de fenêtre.

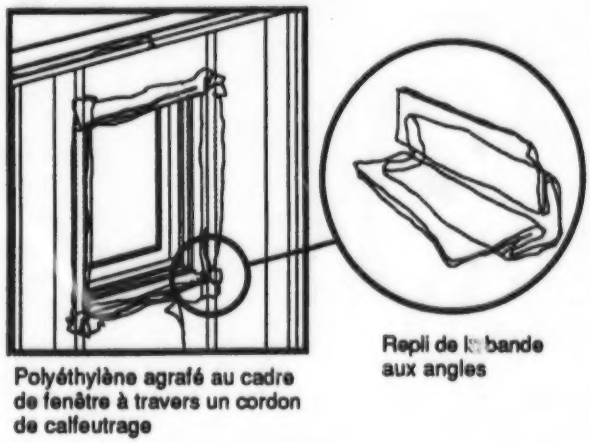


Fig. 9.15 Enveloppement de la fenêtre

- Il peut y avoir circulation d'air entre le polyéthylène et le revêtement extérieur original, par suite des vides occasionnés par les seuils ou couvre-joints extérieurs qui font saillie. Aussi, veiller à rogner ces éléments ou à les enlever avant de poser le pare-air (Figure 9.16).

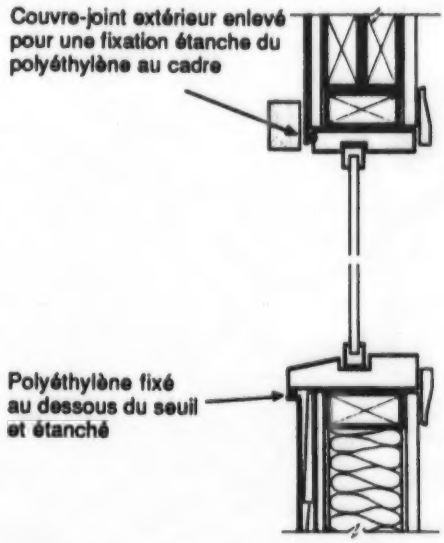


Fig. 9.16 Étanchéisation du pare-air extérieur autour des fenêtres

Réfection par l'intérieur

- Enlever la boiserie existante.
- Faire tous les travaux d'ossature et d'isolation avant de poser le pare-air. Dimensionner l'ouverture brute en fonction de l'emplacement du nouveau seuil.
- Poser le polyéthylène par-dessus l'ouverture, puis le fendre en X, d'angle en angle, et en fixer les rabats à la tranche du cadre au moyen d'un cordon d'isolant acoustique. Ajouter de petites pièces de polyéthylène aux angles, pour assurer l'étanchéité du pare-air rabattu dans l'embrasure (figure 9.17).
- Fixer ensuite les prolongements de seuil et de chambranle directement par-dessus le polyéthylène.
- Des panneaux de mur sec peuvent assurer un pare-air acceptable, dans la mesure où le joint du chambranle et du panneau est étanché comme il se doit avec une pâte de calfeutrage ou une garniture d'étanchéité.

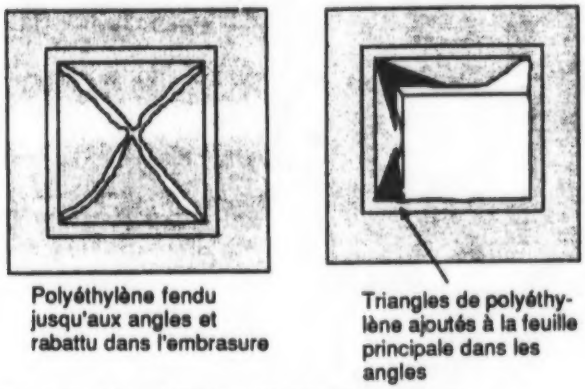


Fig. 9.17 Étanchéisation du pare-air intérieur au bord des fenêtres

ISOLATION DU TOIT ET DE L'ENTRETOIT

Le renouvellement de l'isolant du toit et de l'entretoit est un aspect des travaux de réfection et de rénovation majeurs qui contribue beaucoup à augmenter le rendement global d'une maison. On peut avoir ajouté de l'isolant dans l'entretoit, au fil des années; mais la réfection complète permet d'augmenter encore l'isolement, de parfaire l'étanchéité et de mieux contrôler l'infiltration de l'humidité.

Dans la majorité des cas, "améliorer" l'entretoit s'avérera l'une des tâches les plus faciles de la réfection complète. Cela tient surtout à l'accessibilité usuelle de cette partie de la maison et au fait qu'on peut y travailler à l'isolation et à l'étanchéisation sans se préoccuper des aires de séjour. L'entretoit n'étant pas à la vue, on ne s'inquiète pas des détails de finition, tels la couleur de la peinture, l'exactitude des joints en onglet et le camouflage des vis des panneaux de mur sec.

Néanmoins, beaucoup de genres de toit et d'entretoit se prêtent mal à une nouvelle isolation. Les solutions sont plutôt limitées, quand il est difficile ou impossible d'avoir accès au vide sous comble (plafond cathédrale, toit plat, etc.) On verra ci-après comment augmenter le rendement thermique des entretoits accessibles et inaccessibles. Les techniques expliquées visent surtout à renouveler l'isolant de l'entretoit à partir de l'intérieur de la maison. On indiquera aussi comment le faire de l'extérieur, mais cette façon de procéder convient rarement.

10.1 EXIGENCES D'UNE BONNE RÉFECTION DE L'ENTRETOIT

Comme la réfection complète des autres parties de la maison, celle de l'entretoit s'inspire des principes suivants :

- **Diminuer les pertes de chaleur par conduction**, en assurant un isolement élevé dans tout l'entretoit et en limitant les ponts thermiques.
- **Diminuer les pertes de chaleur par fuites d'air**, en obturant bien toutes les voies possibles d'infiltration d'air dans la maison.
- **Diminuer l'infiltration de vapeur d'eau dans l'entretoit**, en conjuguant la pose d'un pare-vapeur efficace aux mesures d'étanchéisation.
- **Assurer la ventilation de l'entretoit** de façon contrôlée et régulière.

10.1.1 *Diminution des pertes de chaleur par conduction*

Une bonne isolation dépend à la fois de la quantité d'isolant posée et de la façon dont celui-ci est posé. Lorsque l'accès à l'entretoit est limité, l'entrepreneur devra envisager d'employer des matériaux injectables. Dans les entretoits accessibles, on peut utiliser avec autant de succès des nattes, de l'isolant injectable ou un matériau en vrac. Seul un travail soigné assure le rendement optimal de l'isolant nouvellement installé. Il faut :

- poser l'isolant de façon égale dans tout l'entretoit, en s'assurant de bien couvrir le dessus des membres d'ossature;
- isoler le haut des sablières, l'enchevêtrure de la trappe d'entretoit, etc.;
- s'assurer de respecter la densité d'isolant recommandée par le fabricant;
- veiller à ne pas laisser de grands vides dans l'isolant et
- s'assurer d'empêcher l'air extérieur de circuler dans l'isolant, en mettant des déflecteurs aux sous-faces.

10.1.2 *Diminution des fuites d'air*

L'infiltration d'air dans l'entretoit ou dans un toit isolé peut causer d'énormes pertes de chaleur et l'accumulation d'humidité dans la cavité isolée. Étant donné l'effet de cheminée, l'étanchéisation de l'entretoit est particulièrement importante. Les voies courantes d'infiltration d'air dans l'entretoit sont :

- la jonction des sablières,
- les boîtiers électriques encastrés dans le plafond de l'étage inférieur et les ouvertures par où passe le câblage électrique,
- les colonnes de plomberie et
- l'ouverture par où passe la cheminée.

Pour réaliser un isolement efficace et durable, il faut obturer soigneusement toutes les voies possibles d'infiltration d'air provenant de l'intérieur chauffé de la maison. Se reporter à *l'Étanchéisation des maisons aux fins de l'économie d'énergie* , mentionné en annexe B, pour un exposé détaillé sur l'étanchéisation de l'entretoit.

Les techniques exposées ici pour la réfection de la maison entière supposent l'installation d'un pare-air continu. L'entrepreneur effectuant une réfection complète doit s'efforcer d'assurer la continuité du pare-air des murs de l'étage au-dessous, en le raccordant au pare-air de l'entretoit. Bien que les chevrons interdisent l'installation d'une membrane continue dans l'entretoit, une exécution soignée peut faire de la sablière des murs de l'étage inférieur le point de jonction des pare-air. Comme on l'a déjà mentionné, les panneaux rigides peuvent servir de pare-air. Or cette technique convient particulièrement aux entretoits et aux plafonds où il n'y a aucune ouverture.

10.1.3 *Prévention de l'infiltration de vapeur d'eau dans l'entretoit*

Une bonne étanchéisation de l'entretoit bloquera l'infiltration de vapeur d'eau par la voie la plus courante. L'entrepreneur devra néanmoins installer aussi un pare-vapeur pour stopper l'infiltration d'humidité par diffusion. Ce pare-vapeur peut prendre la forme d'un matériau continu, telle une membrane de polyéthylène, ou d'un enduit pare-vapeur appliqué au pinceau. L'application de plusieurs couches de peinture émail suffira souvent à assurer un pare-vapeur acceptable. Quand on a bien obstrué les voies de fuite d'air vers l'entretoit, la continuité du pare-vapeur est une considération moins importante.

10.1.4 *Ventilation de l'entretoit*

Il faut ventiler l'entretoit pour assurer l'évacuation de la vapeur d'eau qui y pénètre et la dispersion de la chaleur accumulée au cours des mois d'été.

La ventilation prescrite par le *Code national du bâtiment* vise à garantir que la vapeur d'eau qui pénètre dans l'entretoit est rejetée à l'extérieur. L'installation correcte d'un pare-air et pare-vapeur diminuera beaucoup la possibilité d'infiltration de vapeur d'eau dans l'espace isolé. Toutefois, si une ventilation insuffisante de l'entretoit peut amener des problèmes, l'excès contraire diminuera les bienfaits de la réfection. Une ventilation excessive, surtout lorsqu'elle tient à l'emploi de ventilateurs électriques, peut porter l'infiltration d'humidité dans l'entretoit au-delà de ce qu'elle serait en temps normal. Il peut s'ensuivre une plus grande accumulation de glace et de givre, d'où, très certainement, une augmentation des pertes de chaleur.

10.2 DÉCISION

La décision de l'entrepreneur et du propriétaire quant à la façon de procéder sera fonction de l'état du toit et du coût des diverses solutions possibles. Dans la grande majorité des cas, la façon la plus simple et la moins coûteuse d'augmenter le rendement du plafond ou du toit consiste à renouveler l'isolant et à étancher par l'intérieur. Lorsque l'ossature du toit est en bon état et relativement accessible, exécuter la réfection par l'intérieur s'avérera la décision la plus sage et la plus économique. Renouveler l'isolant d'un entretoit ou d'un toit plat par l'extérieur ne peut se justifier que dans le cadre de rénovations majeures. Il sera en effet difficile de défendre auprès du client des travaux d'isolation totalisant plusieurs milliers de dollars, quand les économies en résultant s'établissent à moins de 100 $ par année!

Les paragraphes qui suivent font valoir d'autres techniques possibles pour assurer un bon isolement et une meilleure étanchéité. Les techniques de renouvellement de l'isolant d'un entretoit accessible, moyen le plus courant de diminuer les pertes de chaleur au niveau supérieur de la maison, sont données dans leurs grandes lignes en 10.3. La section 10.4 porte sur les divers moyens de refaire, de l'intérieur, l'isolement d'un toit plat ou d'un plafond cathédrale dont les cavités sont d'accès restreint. Enfin, on explique en 10.5 comment refaire l'isolement de ces parties de la maison par l'extérieur. Ce dernier procédé peut assurer une étanchéité remarquable lorsqu'il est utilisé dans le cadre d'une réfection par l'extérieur.

10.3 RENOUVELLEMENT DE L'ISOLANT

Très peu d'ouvrages traitant du renouvellement de l'isolant d'un entretoit accessible insistent sur l'importance de l'installation simultanée d'un pare-air efficace. Comme on l'a dit auparavant, il faut obturer parfaitement toutes les voies d'infiltration d'air dans l'entretoit. Sous ce rapport, l'entrepreneur a le choix d'étancher le plafond de l'étage inférieur du dessus ou du dessous. Dans la plupart des cas, le pare-air ainsi assuré fera également fonction de pare-vapeur.

On peut installer un pare-air et pare-vapeur continu sous les solives du plafond lorsqu'on effectue des travaux majeurs (figure 10.1). Dans la plupart des cas, il s'agira d'une membrane. On peut aussi utiliser des panneaux rigides, qui rempliront alors en outre la fonction de pare-vapeur ou seront recouverts d'un enduit pare-vapeur.

Fig. 10.1 Installation du pare-air au plafond

Il n'est pas difficile de bien étancher une pièce. Toutefois, idéalement, le pare-air du plafond doit se poursuivre, sans interruption, à la grandeur de l'étage. Quand on "évide" la maison ou qu'on effectue des travaux majeurs, il est assez simple d'assurer cette continuité du pare-air. Il suffit d'appliquer à la sablière des cloisons la technique de continuité suggérée pour le pare-air mural à la rubrique 8.2. (figure 10.2).

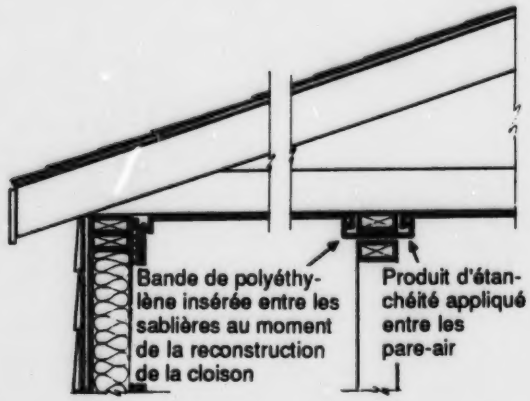


Fig. 10.2 Étanchéisation au niveau des cloisons

Quand les travaux de rénovation prévus sont moins poussés, on peut coincer le nouveau pare-air entre le plafond originel et une nouvelle couche de placoplâtre. L'exécution d'un joint étanche au niveau des cloisons obligera à ajouter des bandes de polyéthylène ou de polystryrène extrudé par-dessus les sablières, à partir de l'entretoit, pour assurer la continuité (figure 10.3).

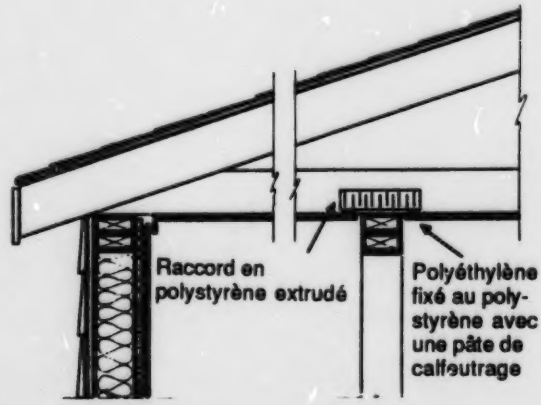


Fig. 10.3 Étanchéisation au niveau des cloisons

Lorsque le pare-air et pare-vapeur est fixé au-dessous des solives de plafond, l'isolation de l'entretoit peut ne pas tenir compte de la règle 1/3 - 2/3 relative au pare-vapeur. À long terme, ce sera néanmoins à l'avantage du propriétaire d'isoler l'entretoit conformément aux exigences d'une réfection complète.

Plutôt que d'installer le pare-air par-dessous les solives de plafond, on peut poser un polyéthylène directement par-dessus les solives, du côté de l'entretoit. En installant le polyéthylène de façon qu'il couvre tout le plancher de l'entretoit, on peut assurer un bon pare-air et pare-vapeur (figure 10.4). Cette façon de procéder a l'avantage de permettre d'exécuter tout le travail à partir de l'entretoit et de ne causer que des dérangements minimaux aux occupants de la maison. Elle permet en outre de conserver l'isolant présent dans l'entretoit, à moins que celui-ci ne se soit beaucoup détérioré.

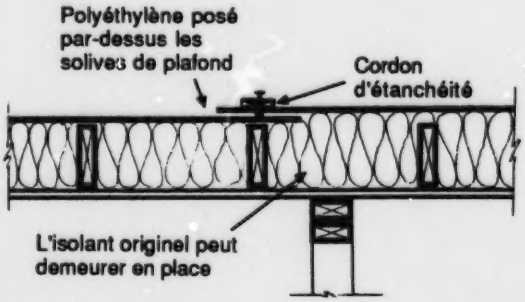


Fig. 10.4 Installation du pare-air par-dessus les solives

La seule difficulté que pourrait poser cette technique concerne la fixation étanche du polyéthylène à la sablière des murs du dessous. Il peut s'avérer plus facile d'employer du polystyrène extrudé pour raccorder le pare-air de l'entretoit à la sablière, au niveau de la sous-face. Comme le montre la figure 10.5, l'isolant rigide doit se prolonger du haut du mur vers le centre de l'entretoit jusqu'au point où il devient possible d'ajouter assez d'isolant dans l'avant-toit. Poser à cet endroit une seconde bande d'isolant rigide qui fera le lien avec le polyéthylène. Bien étancher les joints des matériaux par l'application d'une pâte de calfeutrage.

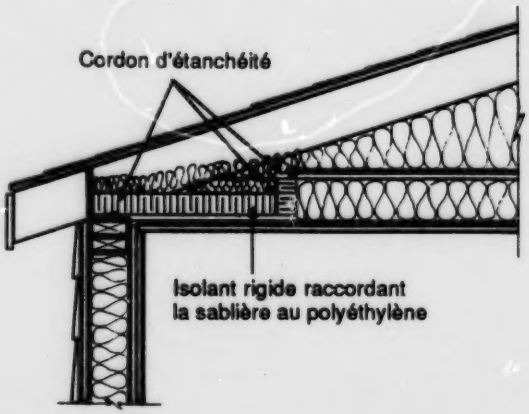


Fig. 10.5 Exécution au niveau de la sous-face

Après avoir posé le polyéthylène par-dessus les solives, en étancher les joints, à l'aide d'une pâte de calfeutrage, d'agrafes et de tasseaux. Faire de même sur le pourtour de la trappe d'entretoit (figure 10.6). L'isolant en nattes ou l'isolant injectable ajouté ensuite doit avoir au moins deux fois la valeur RSI de l'isolant en place, pour satisfaire à la règle 1/3 - 2/3 expliquée au chapitre 2 (figure 10.7). Au besoin, mettre des déflecteurs à la sous-face, pour y maintenir une bonne ventilation. Terminer le travail en fixant plusieurs couches d'isolant rigides au dos de la trappe d'entretoit, garnie d'un coupe-bise sur son pourtour pour assurer un joint étanche.

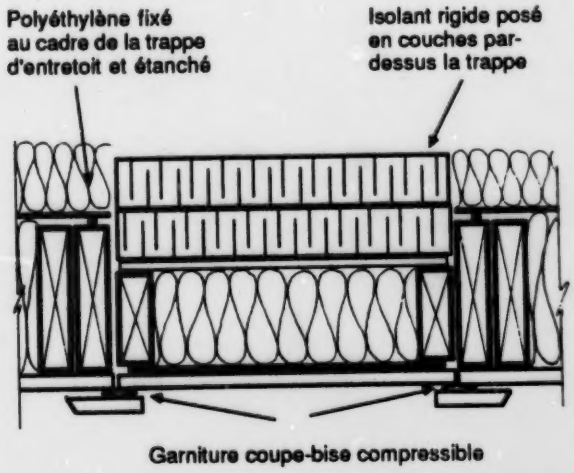


Fig. 10.6 Exécution au niveau de la trappe d'entretoit

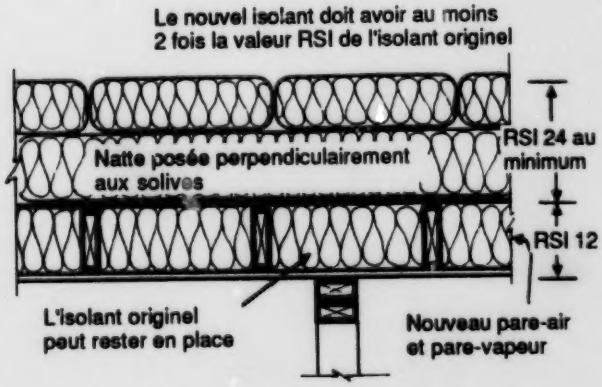


Fig. 10.7 Emplacement du pare-air

Une autre façon d'assurer un bon joint au niveau de la trappe d'entretoit consiste à condamner la trappe donnant dans la maison et à en aménager une nouvelle qui donnera accès à l'entretoit par l'extérieur, à partir du pignon, par exemple.

10.4 ISOLATION DU PLAFOND CATHÉDRALE ET DU TOIT PLAT

Le plafond cathédrale et le toit plat présentent de plus grandes difficultés pour l'entrepreneur qui essaie d'augmenter l'isolement. Le principal problème tient au peu d'espace disponible - habituellement délimité par les dimensions des solives - pour mettre l'isolant et assurer la ventilation du toit.

Les codes du bâtiment exigent, pour la plupart, un espace de ventilation minimal de 75 mm entre l'isolant et le dessous du revêtement de toiture. Autrement dit, l'épaisseur de l'isolant mis dans la cavité doit être inférieure de 75 mm à la largeur des éléments de charpente (figure 10.8). Par exemple, si les solives du toit ont 38 mm sur 235 mm, l'isolant doit avoir au plus 160 mm d'épaisseur, ce qui correspond à une natte isolante de valeur RSI 4,9. L'isolement possible diminue avec les dimensions des éléments de charpente.

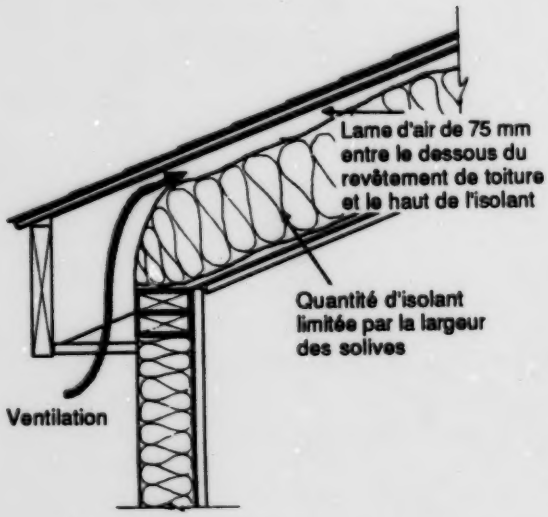


Fig. 10.8 Ventilation d'un plafond cathédrale

Pour améliorer le rendement thermique de ce genre de toit, il faut donc augmenter la dimension de la cavité. La section 10.5 explique comment le faire de l'extérieur; ce mode de réfection se justifiera le plus facilement dans le cadre de travaux de réparation majeure ou de la restauration du toit-terrasse. De l'intérieur, il y a deux solutions possibles :

- poser un fond de clouage ou de l'isolant rigide et
- agrandir la cavité délimitée par les solives.

10.4.1 Pose d'un fond de clouage ou d'isolant rigide

L'une des solutions les plus simples consiste recouvrir le plafond d'isolant. De cette façon, le revêtement de plafond demeure, mais on n'a pas accès à la cavité du toit.

L'addition d'isolant à la face inférieure du plafond se fait, soit par application directe d'isolant rigide, soit par la pose d'un fond de clouage. On peut intégrer un pare-air et pare-vapeur de polyéthylène à l'ensemble, à condition de respecter la règle 1/3 - 2/3 et de s'assurer qu'il y a, au-delà de la membrane, deux fois la valeur isolante ajoutée en deçà de celle-ci. Lorsque le revêtement de plafond se fixe directement à la face inférieure des éléments de charpente, ces derniers portent le nom de solives plutôt que de chevrons. La pose d'isolant rigide directement sur le plafond se fait selon les techniques de fixation expliquées en 8.2.3. L'entrepreneur doit veiller à employer les bonnes techniques. Il lui faut :

- fixer l'isolant rigide directement à la charpente du toit, au moyen d'attaches mécaniques (figure 10.9);

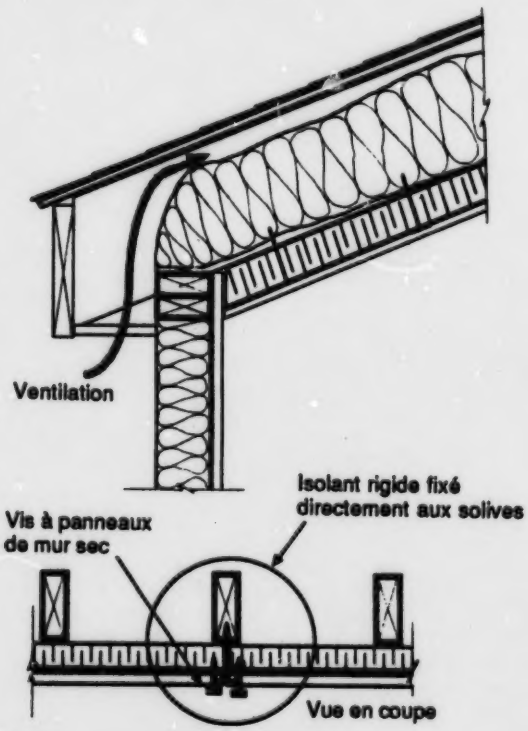


Fig. 10.9 Fixation de l'isolant rigide

- prévoir une surface de clouage adéquate pour le nouveau revêtement de plafond (figure 10.10);
- rendre les panneaux isolants rigides bien jointifs, pour diminuer la possibilité de courants d'air;
- bien étancher les joints de l'isolant rigide, s'il sert à la fois de pare-air et de pare-vapeur;
- prolonger le câblage de tout appareil électrique installé au plafond afin de le mettre à fleur du nouveau plafond fini.

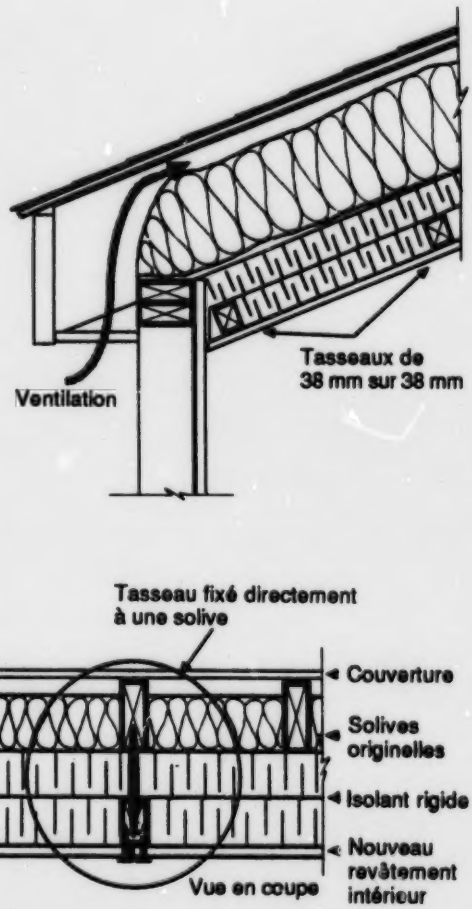


Fig. 10.10 Fond de clouage et isolant rigide

Pour ajouter beaucoup d'isolant par-dessous le plafond, l'entrepreneur devra vraisemblablement mettre des tasseaux qui serviront de fond de clouage au nouveau revêtement et de support à l'isolant rigide. La figure 10.10 illustre différentes façons de poser ce fond de clouage et l'isolant rigide. Il ne faut pas oublier toutefois que chaque fond de clouage ajoute aux travaux.

Le fond de clouage permet aussi de substituer des nattes isolantes à l'isolant rigide. Cette façon de procéder occasionne moins de frais que l'utilisation de panneaux rigides, mais elle ne permet pas aussi facilement d'accroître beaucoup l'isolement. En effet, si on emploie du bois de 38 mm sur 64 mm ou plus, ce peut être difficile de fixer le fond de clouage solidement. - On pourrait contourner la difficulté en renforçant la fixation des panneaux à l'aide de longs clous (figure 10.11). - Il faut aussi mettre les tasseaux aux entraxes appropriés, pour que les nattes ne tombent pas.

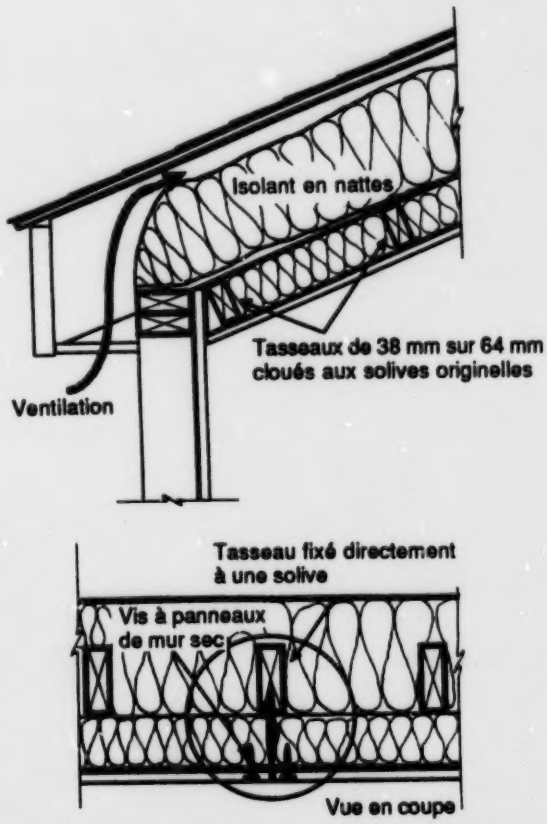


Fig. 10.11 Fond de clouage et isolant en nattes

10.4.2 Agrandissement de la cavité délimitée par les solives

Dans bien des cas, on peut agrandir la cavité délimitée par les solives de toit, en abaissant le plafond pour ajouter plus d'isolant. Lorsque les occupants sont disposés à supporter les dérangements que cela entraîne et qu'ils ne voient pas d'inconvénient à ce qu'on réduise la hauteur sous plafond, l'abaissement du plafond peut s'avérer une solution acceptable.

Les techniques employées dépendront de la forme et de la structure du plafond ou du toit. Lorsque les solives sont espacées normalement, on peut les abaisser dans le même plan. Toutefois, lorsque leur espacement est irrégulier, ce peut être plus facile de construire une nouvelle charpente, perpendiculaire à la première.

Bien entendu, il est plus facile d'utiliser les solives existantes. On peut y suspendre les nouvelles solives par des goussets, à la hauteur qui convient pour poser l'isolant requis et ménager l'espace de ventilation nécessaire sous le revêtement de toiture. Comme les nouvelles solives supporteront seulement la charge du nouveau plafond, elles peuvent être faites de bois de 38 mm sur 89 mm et fixées à la charpente originelle par des cales de 38 mm sur 89 mm ou du contreplaqué de 13 mm d'épaisseur (figure 10.12). Le contreplaqué, surtout s'il est placé de part et d'autre des solives, aide à raidir l'ensemble. Il est par ailleurs recommandé de couper les cales ou les goussets de contreplaqué tous de la même longueur pour faciliter la mise en place des solives, parallèlement aux solives originelles.

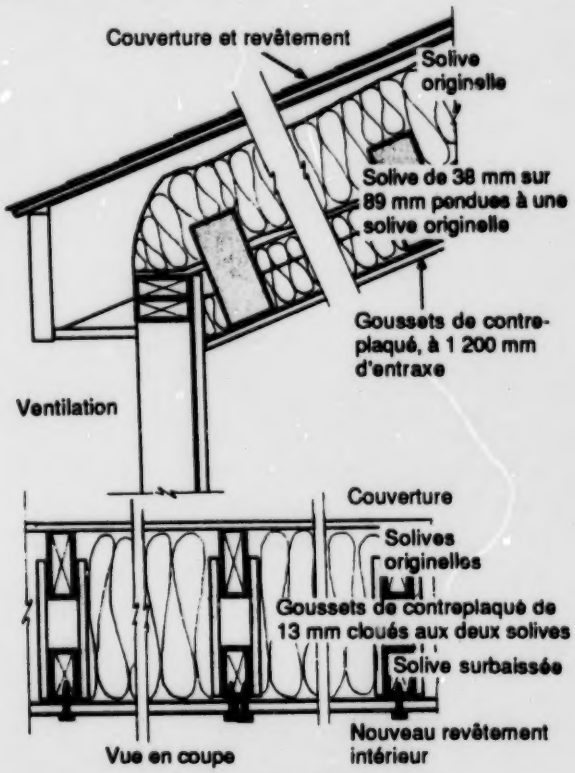


Fig. 10.12 Agrandissement de la cavité entre les solives

Après avoir abaissé les solives, ajouter de l'isolant dans la cavité ménagée. Poser les nattes de façon à assurer la ventilation continue de la sous-face. S'il faut comprimer l'isolant, songer à foncer d'abord la cavité d'un grillage à volaille ou d'un autre matériau qui l'empêchera d'appuyer contre le revêtement de toiture (figure 10.13). L'insertion de bouts de nattes ou d'isolant rigide entre les deux éléments des solives composées limitera la circulation d'air à ce niveau (figure 10.14). Installer le pare-air par-dessous les nouvelles solives, avant de poser le revêtement de plafond.

Lorsque l'espacement des solives ne permet pas de les abaisser à la manière expliquée ci-dessus, l'installation de nouvelles solives, perpendiculaires aux premières facilitera le travail de finition. L'entrepreneur qui envisage de procéder de la sorte devra assurer une bonne fixation aux nouvelles solives. Le plus simple est de mettre des cales de 38 mm sur 89 mm, entre les deux rangées de solives (figure 10.15). On peut mettre les nouvelles solives à entraxes de 600 mm pour limiter les frais de main-d'oeuvre et de matériaux. Cette façon de procéder occasionnera sans doute plus de travail que la méthode expliquée auparavant, mais elle aide à réduire la

circulation d'air et les ponts thermiques, en permettant d'installer une couche d'isolant perpendiculairement à celle qui se trouve dans la cavité originelle.

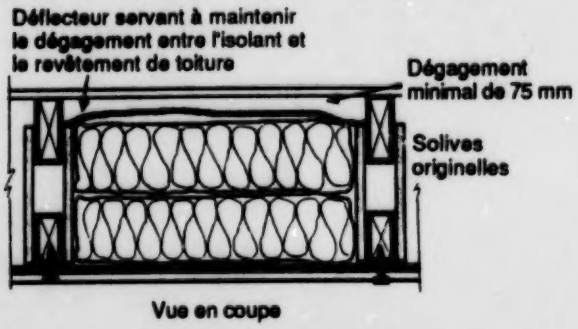


Fig. 10.13 Maintien de la ventilation

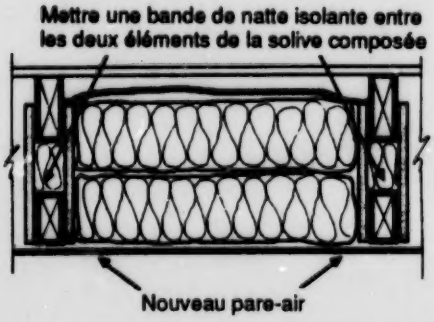


Fig. 10.14 Diminution de la circulation d'air

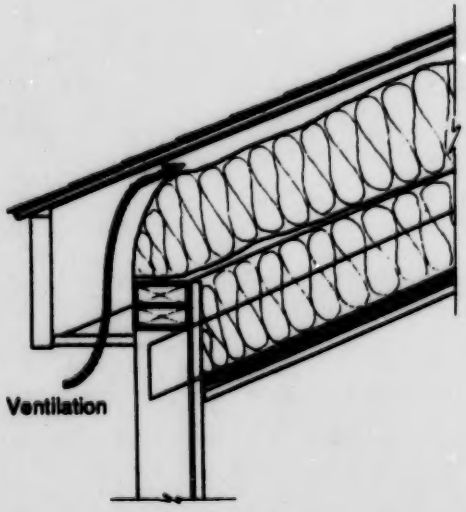


Fig. 10.15 Assemblage d'une nouvelle charpente par l'intérieur

Lorsque les dimensions de la pièce le permettent, les nouvelles solives peuvent être installées indépendamment de la charpente de toiture originelle et prendre appui sur les murs. Dans ce cas, clouer une lisse au mur et y fixer les nouvelles solives par un clouage en biais ou par des étriers (figure 10.16). Si la portée des solives est trop grande pour des éléments de 38 mm sur 89 mm, ajouter des supports intermédiaires entre les deux rangées de solives.

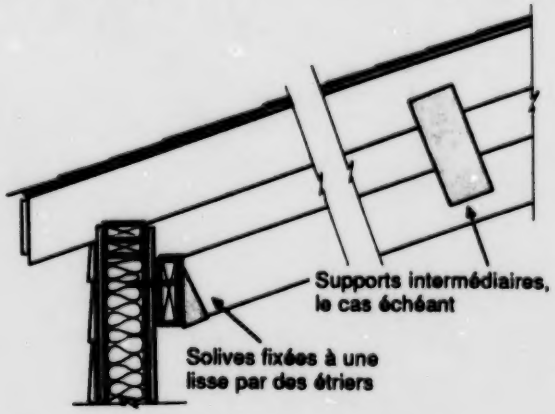


Fig. 10.16 Abaissement des solives de plafond

10.5 RÉFECTION DU TOIT PAR L'EXTÉRIEUR

Lorsqu'on entend modifier la structure ou l'apparence du toit, la réfection peut s'effectuer de l'extérieur. On en tirera sans doute un rendement thermique supérieur, surtout si elle est combinée à la réfection extérieure des murs; mais la dépense ne saurait être justifiée que si l'augmentation du rendement énergétique est une considération secondaire. Le coût d'une réfection de toiture par l'extérieur s'établit habituellement à plusieurs milliers de dollars. Il faut renouveler les bardeaux, poser un nouveau revêtement et remplacer les gouttières, les sous-faces et la bordure de l'avant-toit. L'enlèvement et le transport des gravats, comme l'achat et la pose de l'isolant, occasionnent aussi des frais. Or il est bien évident que seules quelques-unes de ces dépenses peuvent être considérées comme directement liées à l'économie d'énergie.

Même lorsqu'on fait des modifications majeures à la toiture, la réfection par l'extérieur peut ne pas être le meilleur moyen d'augmenter le rendement énergétique de cette partie de la maison. Quand on peut augmenter l'étanchéité de la charpente originelle et y intégrer l'isolant requis, mieux vaut procéder de la manière expliquée en 10.3. La réfection par l'extérieur peut néanmoins constituer la meilleure solution quand :

- il vaut la peine de conserver le revêtement de plafond et
- il est prévu de transformer l'entretoit en un espace de séjour.

Il y a essentiellement deux techniques de réfection du toit par l'extérieur. La première fait appel aux méthodes traditionnelles d'isolation des établissements commerciaux : elle combine l'isolant rigide à différents matériaux de couverture. La seconde suppose la construction d'une nouvelle charpente par-dessus le toit originel. Toutes deux peuvent améliorer beaucoup l'étanchéité et l'isolement et, bien que leur exécution diffère, les préparatifs qu'elles nécessitent sont essentiellement les mêmes. Il faut :

- enlever les matériaux de couverture;
- modifier la sous-face et la bordure d'avant-toit;
- poser un nouveau pare-air et pare-vapeur;
- prolonger les solins du toit, etc.

La réfection du toit par l'extérieur exige aussi une coordination soignée de la part de l'entrepreneur. La maison risque en effet d'être endommagée par la pluie lorsqu'on enlève le toit et modifie les solins. Il en va de même de certains des matériaux employés pour la réfection. L'entrepreneur serait donc bien avisé de ne travailler qu'à la moitié du toit à la fois, pour limiter les risques de dommages. Il devrait toujours avoir des bâches et d'autres matériaux protecteurs à portée de la main.

L'entrepreneur devra évaluer l'état des matériaux de couverture et la capacité de la charpente de supporter la charge d'une nouvelle couverture. Dans la grande majorité des cas, mieux vaut **enlever la couverture.** Cela assurera une surface de travail plus propre et plus égale et diminuera les risques de surcharge de la charpente. La surface plane en résultant contribuera à limiter la circulation d'air entre le revêtement de toiture et le pare-air, d'où un meilleur rendement de l'ensemble après réfection.

L'entrepreneur devra également **étudier les difficultés d'exécution posées par la sous-face et la bordure d'avant-toit.** Lorsque la réfection du toit s'exécute en même temps que celle des murs, il a le choix de prolonger l'enveloppe thermique murale jusque sur le toit. Il doit, dans ce cas, modifier l'extrémité des chevrons pour que le pare-air et pare-vapeur se trouve en deçà de l'endroit où se produit le point de rosée (figure 10.17). Il devra d'ailleurs modifier ou élargir la bordure d'avant-toit, même si la réfection du toit se fait indépendamment de celle des murs.

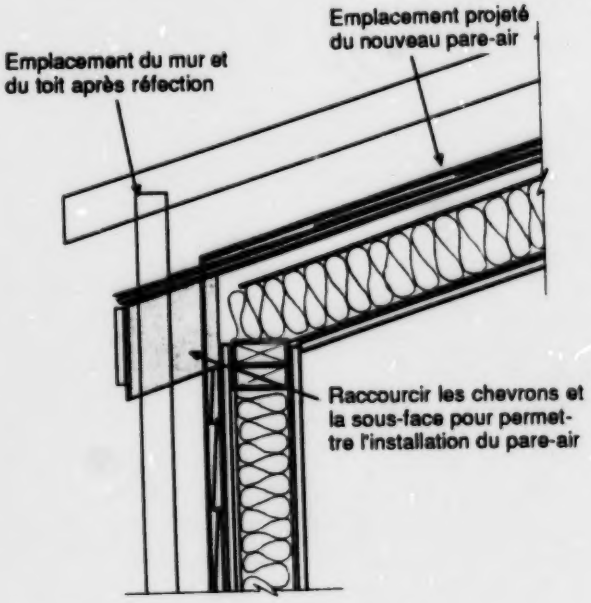


Fig. 10.17 Enlèvement du débord de toit

L'entrepreneur effectuant une réfection complète s'efforcera **d'assurer la continuité du pare-air entre les murs et le toit.** C'est possible quand la réfection extérieure des murs se fait en même temps que celle du toit. Recouvrir la couverture de polyéthylène pour assurer la continuité du pare-air risque toutefois de causer de graves problèmes de sécurité. Si on se sert de polyéthylène comme pare-air, il faut ménager des passages pour que les ouvriers puissent travailler et se déplacer en sécurité. D'un autre côté, il est difficile d'assurer la

continuité du pare-air jusque sur le toit, quand la réfection extérieure du toit est combinée à une réfection murale intérieure. La figure 10.18 montre divers moyens de contourner la difficulté et de raccorder les pare-air intérieur et extérieur.

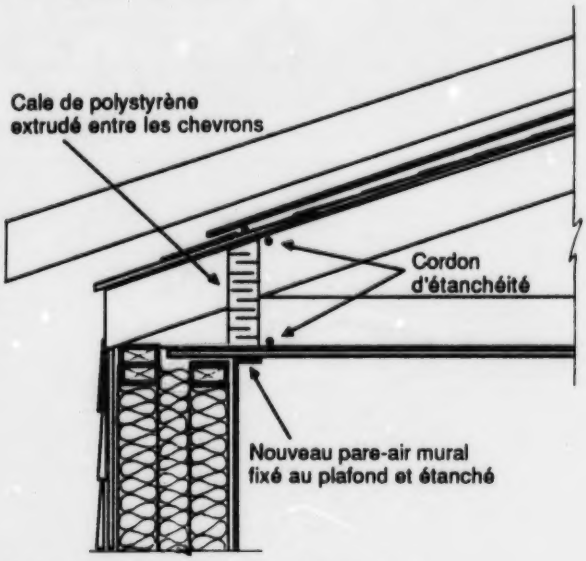


Fig. 10.18 Jonction du pare-air mural et du pare-air du toit

Lorsqu'on apporte des modifications majeures au toit, il faut d'abord et avant tout assurer une bonne imperméabilisation et un bon drainage. Si l'épaisseur du toit change, mettre de **nouveaux solins** autour des cheminées de foyer et de poêle à bois, des colonnes de plomberie, du poteau de branchement au secteur, etc. Le toit sera recouvert d'un nouveau revêtement - bardeaux neufs, tuiles, feutre surfacé ou couverture multicouche. L'installation de cette couverture doit toujours se faire selon les règles de l'art.

10.5.1 Isolation à l'aide de panneaux rigides

On peut poser des panneaux isolants rigides directement sur le revêtement existant. L'emploi d'isolant rigide a l'avantage de ne pas augmenter beaucoup l'épaisseur du toit, étant donné la valeur RSI plus élevée des matériaux utilisés. Cela exige aussi moins de main-d'oeuvre que les techniques supposant la construction d'une nouvelle charpente. En règle générale, les panneaux rigides sont toutefois plus coûteux que les nattes de fibres de verre ou l'isolant en vrac.

Il y a deux façons de poser le pare-air et pare-vapeur quand on utilise de l'isolant rigide. On peut placer les panneaux directement sur du polyéthylène, à la manière décrite ci-dessus, ou employer des panneaux rigides de faible perméance et en recouvrir les joints de ruban adhésif pour bloquer les fuites d'air. Cette seconde solution est la préférée, car elle élimine les risques courus lorsqu'on marche sur le polyéthylène. Le pare-air doit être placé aussi près que possible de la couverture originelle, afin de limiter les risques de condensation. Quand on pose plusieurs couches d'isolant rigide, étancher la couche inférieure de façon qu'elle tienne lieu de pare-air.

Le choix du matériau isolant dépend des considérations suivantes :

- degré d'isolement requis;
- perméabilité du matériau;
- résistance à la compression des panneaux isolants;
- mode de fixation privilégié;
- compatibilité de l'isolant avec la couverture et
- coût du matériau après installation.

Étudier attentivement la documentation du fabricant, pour s'assurer que le matériau convient à l'emploi auquel on le destine et se familiariser avec le procédé d'installation.

Dans la majorité des cas, il faudra mettre plus d'une couche d'isolant rigide pour assurer un isolement plus élevé. Il faudra donc prévoir une fixation intermédiaire pour procurer un appui solide au revêtement. La technique de fixation employée doit permettre la ventilation de l'espace entre le revêtement et l'isolant rigide sous-jacent. Non seulement cette lame d'air permettra-t-elle d'évacuer l'humidité qui pourrait s'infiltrer dans la toiture, mais elle prolongera aussi la durée de la couverture en en refroidissant la face inférieure au cours des mois les plus chauds.

La charge du nouveau toit doit être répartie uniformément sur la charpente originelle. Si la résistance à la compression du matériau isolant est inférieure à ce qu'exige cette charge, ménager des appuis intermédiaires pour supporter celle-ci. Toute modification majeure de la répartition de la charge du toit doit être conforme aux prescriptions du code local du bâtiment et peut exiger une modification de la charpente.

Dans la plupart des cas, l'installation de pannes par-dessus l'isolant s'avérera la meilleure solution. Celles-ci procureront un bon appui au revêtement, tout en assurant la ventilation de la toiture (figure 10.19). Tout dépendant de la charge et de la conception du nouveau toit, les pannes peuvent être installées à entraxes de 400 mm ou de 600 mm. Dans le second cas, il faudra installer des cales ou des agrafes en "H" à mi-portée pour supporter le revêtement du toit. Enfin, l'aménagement de la sous-face doit permettre la libre circulation de l'air, tout en empêchant les insectes, les oiseaux et les petits rongeurs de pénétrer dans la toiture.

La finition de la sous-face et de la bordure d'avant-toit peut varier pour permettre la ventilation transversale de la nouvelle toiture. L'entrepreneur devra par ailleurs planifier l'exécution de façon à fournir de bonnes surfaces de clouage à la finition. La pose de la couverture se fait selon les pratiques courantes, un soin particulier étant porté à l'imperméabilisation et à la pose des solins. Le choix de la couverture dépend surtout de la pente du toit et des préférences du couvreur et sera rarement influencé par des considérations liées à l'énergie.

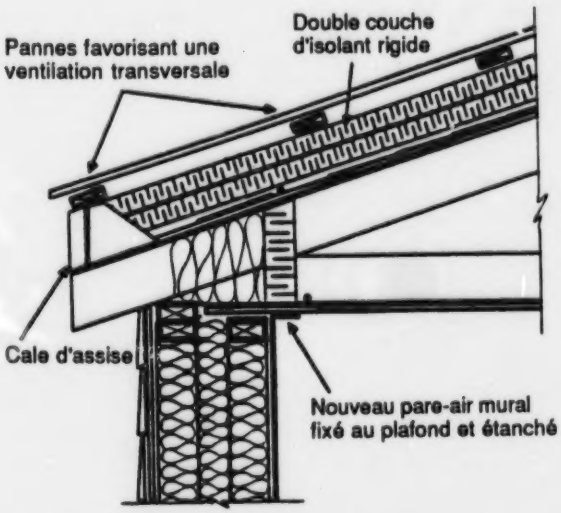


Fig. 10.19 Jonction du pare-air du toit et du pare-air mural

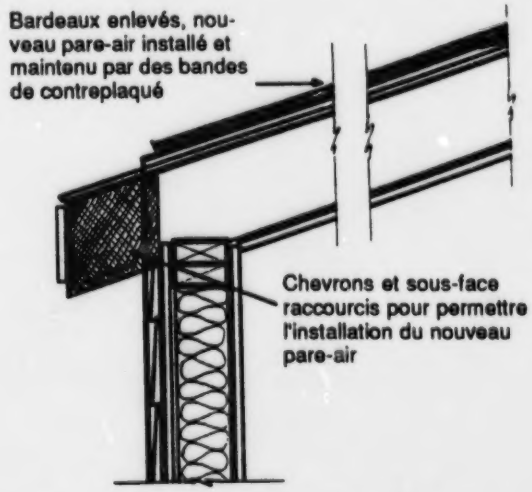


Fig. 10.20 Installation du nouveau pare-air

10.5.2 Nouvelle charpente de toit

On peut superposer une charpente à celle qui est en place, afin d'isoler le toit au moyen de nattes de fibres de verre. L'emploi de nattes isolantes diminuera en général les frais de matériaux, mais produira une toiture plus épaisse. Seule la technique de construction de la charpente détermine la quantité d'isolant ajoutée. La superposition d'une nouvelle charpente ajoute à la charge constante du toit et peut, dans certains cas, obliger à réévaluer la structure. Exécutée dans le cadre de travaux de rénovation prévus, elle peut augmenter beaucoup le rendement de la toiture.

L'installation de la nouvelle charpente est complétée par celle d'un polyéthylène tenant lieu de pare-air et de pare-vapeur. Le raccordement du pare-air du toit à celui des murs extérieurs oblige à couper d'abord les chevrons à fleur des murs de la maison (figure 10.20), afin de pouvoir monter le polyéthylène jusque sur le toit, sans l'interrompre.

Mettre des bandes de contreplaqué par-dessus le polyéthylène, pour le maintenir en place et procurer une surface de travail aux ouvriers. Les fixer verticalement tous les deux ou trois chevrons.

La charge du nouveau toit doit être répartie uniformément sur la charpente originelle. Le mieux à faire est de mettre des pannes qui font la longueur du toit. Dans la plupart des cas, il n'en faut que trois : une à la base du toit, une deuxième à mi-pente et la troisième au faîte (figure 10.21). Dans les régions où il y a beaucoup de neige et dans les cas où l'entrepreneur n'est pas certain de la solidité du toit existant, mieux vaut consulter le tableau des portées recommandées, pour s'assurer que la charge du toit est bien assise. La dimension des pannes sera fonction de l'isolant à ajouter. Les pannes peuvent être fixées à la charpente originelle de différentes façons, comme le montre les figures 10.21 à 10.23.

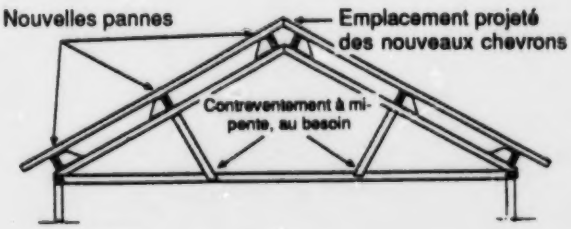


Fig. 10.21 Emplacement des pannes du nouveau toit

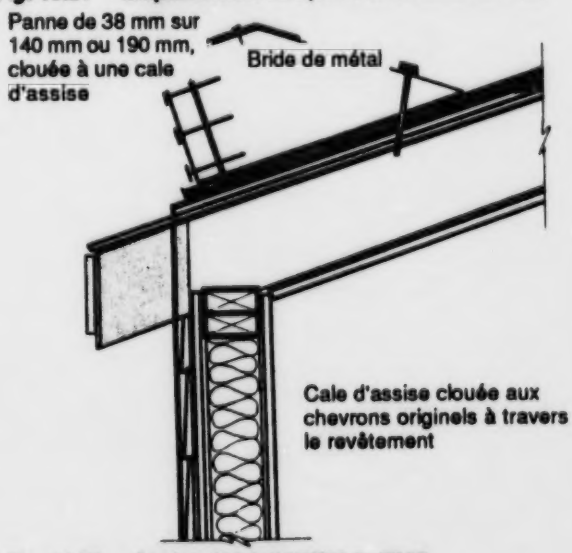


Fig. 10.22 Assise des nouvelles pannes

Fig. 10.23 Appui des pannes de faîte

Une fois les pannes en place, disposer les chevrons des bords au faîte, comme le montre la figure 10.24. L'exécution de l'extrémité des chevrons doit permettre l'installation de la sous-face et de la bordure d'avant-toit. Les dimensions et les entraxes des chevrons peuvent être calculés à partir des tableaux des portées recommandées, mais on emploiera le plus souvent du bois de 38 mm sur 89 mm ou 140 mm, à 400 m ou 600 mm d'entraxe. Les entraxes doivent être propices à l'installation d'isolant et de contreplaqué de dimensions standard.

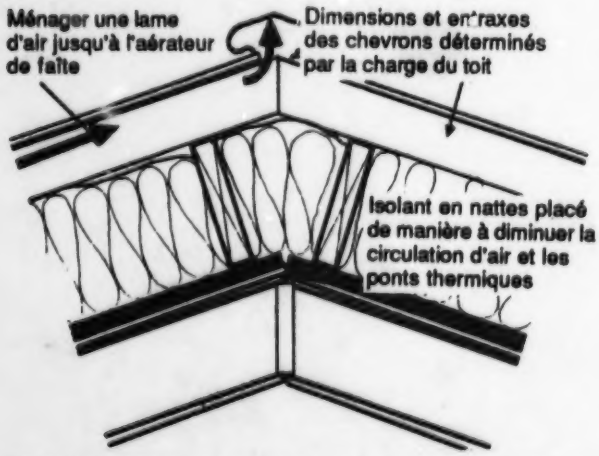


Fig. 10.24 Installation de l'isolant et du revêtement

L'isolation doit viser à restreindre la circulation d'air et les ponts thermiques. La première couche de nattes isolantes peut être posée horizontalement par-dessus le polyéthylène, entre le revêtement originel et la face inférieure des nouveaux chevrons. La couche suivante peut alors être placée entre les chevrons. Il faut toutefois prévoir une lame d'air d'au moins 75 mm entre le dessus de l'isolant et le haut des chevrons.

La pose de la couverture se fait selon les techniques usuelles. Prendre soin d'interrompre le revêtement à 50 mm du faîte, au moins, afin de permettre la ventilation le long de cette arête. L'aménagement des sous-faces du débord de toit doit également permettre la ventilation des espaces entre les chevrons (figure 10.25). La finition se fait selon les pratiques normales du bâtiment.

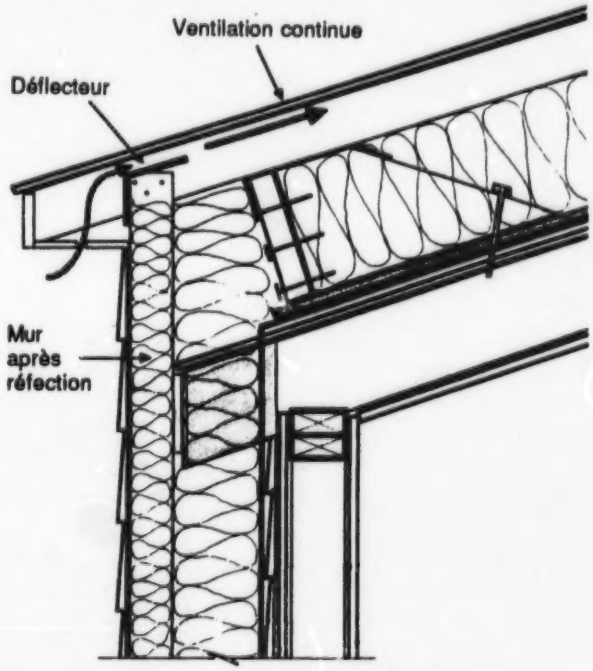


Fig. 10.25 Exécution au niveau de la sous-face

11

VENTILATION ET CHAUFFAGE

L'augmentation du rendement énergétique d'une maison par la réfection en change les besoins de ventilation et de chauffage. Elle change aussi les contraintes auxquelles est soumis l'équipement répondant à ces besoins. Les techniques de construction étanche procurent à l'occupant un intérieur plus confortable, moins exposé aux courants d'air et aux problèmes d'humidité. Toutefois, l'entrepreneur ne doit pas oublier que l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment a aussi ses effets sur l'équipement mécanique de la maison : le taux de ventilation de la maison après réfection peut être trop bas et l'approvisionnement du système de chauffage en air comburant peut devenir insuffisant. La diminution des besoins de chauffage peut aussi déséquilibrer le fonctionnement du système, de sorte que certaines parties de la maison seront trop chauffées et d'autres pas assez. Il faudra donc modifier le chauffage et la ventilation.

On verra ci-après comment toute bonne réfection évite les problèmes relatifs à la salubrité de l'air, sans sacrifier le confort des occupants, en assurant une ventilation contrôlée. On verra également ce que suppose le bon fonctionnement d'un système de chauffage propre à accroître le confort des occupants de la maison, en toute sécurité et à prix avantageux.

On ne s'attend pas que l'entrepreneur exécute lui-même les travaux majeurs que nécessitera l'équipement mécanique. Néanmoins, l'exposé ci-après des principes de conception de ces installations pour la maison soumise à la réfection devrait l'aider au cours de ses discussions avec le sous-traitant auquel il confie les travaux. Il est d'ailleurs fortement recommandé de consulter un entrepreneur en CVC (chauffage, ventilation, climatisation), quand on ne connaît pas bien le domaine soi-même. Tous les travaux relatifs au système de chauffage de la maison doivent être confiés à un personnel compétent.

11.1 BESOINS DE VENTILATION

L'admission d'air extérieur dans la maison est chose nécessaire, notamment pour :

- contrôler les odeurs, les polluants et l'humidité et
- fournir l'air comburant nécessaire aux appareils à combustion de la maison.

Dans les maisons de construction traditionnelle, qui ne sont pas très étanches, la ventilation naturelle peut suffire à assurer la salubrité de l'air en diluant les odeurs, les polluants et la vapeur d'eau résultant des activités normales de la maisonnée. Toutefois, quand on étanche l'enveloppe de la maison et qu'on y diminue la circulation incontrôlée de l'air, on atténue d'autant l'effet de dilution naturelle. De fait, l'étanchéisation peut diminuer les infiltrations au point où la ventilation devient insuffisante. Il importe donc de prévoir une ventilation contrôlée pour assurer la réussite de la réfection de la maison entière.

La ventilation peut poser un problème durant toute la saison froide ou seulement par temps plus clément. Parfois, il suffit de moyens très simples (faire fonctionner les systèmes d'évacuation, ouvrir les fenêtres à certains moments, par exemple) pour remédier à la situation. À d'autres moments, il faut aménager un système de ventilation particulier. La solution dépend naturellement de l'étanchéité de la maison après la réfection et de ce que souhaite les propriétaires.

Lorsque la maison est très étanche, présentant une surface de fuite équivalente d'au plus 0,05 m², comme c'est possible à la suite de travaux de réfection poussés, les fuites d'air ne suffiront nettement pas à satisfaire aux besoins de ventilation normaux pendant une bonne partie du temps. Un système de ventilation équilibré et bien conçu, capable d'assurer 0,5 renouvellement d'air à l'heure (rah), comme le précisent les principes de construction de la maison R-2000, serait tenu pour adéquat à l'heure actuelle. Pour assurer ce genre de ventilation, l'entrepreneur pourra, selon les sommes que le propriétaire est disposé à investir, suggérer l'emploi d'un ventilateur-récupérateur de chaleur. En cas de doute quant à l'étanchéité de la maison, mesurer la surface de fuite équivalente à l'aide des techniques exposées dans *Détermination de l'étanchéité à l'air des enveloppes de bâtiment par la méthode de dépressurisation au moyen d'un ventilateur*, publié par l'ONGC (CAN2-149.10-M).

Si, après la réfection, la surface de fuite équivalente de la maison est d'environ 0,05 m\2 à 0,1 m², elle correspond à celle de beaucoup de maisons neuves, construites selon les normes acceptées. La ventilation assurée par circulation naturelle sera alors inférieure au niveau recommandé pour les périodes plus tempérées de l'hiver, particulièrement lorsqu'il n'y a pas beaucoup de vent. Il convient donc d'aménager un système de ventilation d'appoint qui fournira sur demande un minimum de 0,3 rah. Il peut s'agir de ventilateurs aspirants, installés correctement dans les salles de bains et la cuisine ou encore, quand la maison est chauffée à l'air chaud, d'une conduite d'admission d'air frais, bien conçue et raccordée au plénum de reprise d'air (équipé d'un registre automatique ou manuel). Cette dernière solution est déconseillée dans le cas des maisons plus étanches, à moins qu'un bon pare-air empêche l'air humide de la maison de pénétrer dans la structure.

Lorsque la surface de fuite équivalente est vraisemblablement supérieure à 0,1 m², comme c'est courant dans les maisons construites de nos jours où l'étanchéité n'est pas parfaite, il pourrait convenir d'ajouter un système de ventilation. Cela peut toutefois se faire plus tard, si le propriétaire le souhaite. Quand la surface de fuite équivalente est supérieure à 0,15 m², comme c'est le cas dans beaucoup de maisons construites il y a bien des années et même dans certaines maisons neuves, les infiltrations fourniront probablement, pendant virtuellement toute la saison de chauffage, le minimum d'air frais nécessaire selon les normes en vigueur. Il faut toutefois déduire alors que l'exécution de la réfection laisse à désirer.

11.1.1 Contrôle des odeurs, des polluants et de l'humidité

La préparation des aliments, le nettoyage, le lavage et diverses activités de loisir des occupants de la maison dégagent des odeurs.

Les polluants relevés dans la maison émanent de diverses sources : matériaux de construction et meubles neufs, gaz emprisonnés dans le sol et s'infiltrant dans la maison par les murs et la dalle du sous-sol, tâches ménagères et mauvais fonctionnement des appareils à combustion.

La plupart des Canadiens sont habitués à une humidité relative extrêmement basse en hiver. Pourtant, cette absence d'humidité tient rarement à une baisse de production, puisqu'une maisonnée typique de quatre personnes peut produire de 10 à 20 litres d'humidité par jour et que l'humidité emmagasinée dans la charpente pendant la saison douce s'en dégage en hiver. Étant donné l'étanchéité et la ventilation naturelle réduite de la maison à bon rendement énergétique, l'humidité relative y augmentera à moins qu'on ne prenne des mesures préventives. La formation de condensation à la surface des fenêtres et l'apparition de moisissure et de mildiou sur les surfaces froides sont des indices de grande humidité.

La concentration des odeurs, des polluants et de l'humidité dans la maison dépend du rythme auquel ceux-ci sont produits et de la vitesse à laquelle le système de ventilation les évacue ou les dilue. On peut donc la contrôler en régissant la production de ces éléments et en évacuant ceux-ci au moyen d'un système de ventilation.

On contrôlera la production d'humidité en arrêtant les humidificateurs, faisant rejeter l'air de la sécheuse directement à l'extérieur et éliminant les problèmes d'humidité du sous-sol. L'occupant peut aussi limiter la concentration de beaucoup d'odeurs et de polluants, en les faisant évacuer à l'endroit même où ils sont produits.

Le système de ventilation permet de régir la concentration des odeurs, des polluants et de l'humidité, en évacuant ces produits à leur point de production et en admettant de l'air de l'extérieur pour les diluer.

11.1.2 Air comburant

Les problèmes de ventilation mentionnés ci-dessus affectent tous la qualité de l'air de la maison. Toutefois, il est tout aussi important de considérer la **quantité** d'air disponible dans la maison. Jusqu'ici, les fuites étaient la principale source de l'air nécessaire pour entretenir la combustion et le tirage des calorifères et chauffe-eau classiques au mazout raccordés à une cheminée à tirage naturel. Or, quand on augmente l'étanchéité de la maison, il arrive que les fuites d'air ne suffisent plus à satisfaire à ce besoin; le tirage est alors insuffisant et les gaz de combustion sont rejetés dans la maison. Dans un tel cas, l'utilisation de ventilateurs aspirants peut ajouter aux problèmes.

Lorsque la maison est équipée d'appareils à combustion munis d'un évent extérieur, il faut s'assurer de fournir à ces appareils la provision d'air comburant recommandée par les codes provinciaux en vigueur. Il faut, à tout le moins, respecter les prescriptions des codes pertinents d'installation de matériel à combustion (CSA B139F-1976 : *Code d'installation pour équipement de combustion d'huile*, CSA B365FM-1984 : *Code d'installation des appareils de chauffage à combustibles solides et du matériel connexe* et CGA B149.1 - M86 : *Installation Code for Natural Gas Burning Appliances and Equipment*). Ces normes font une distinction entre les constructions étanches et les constructions moyennes. Bien que cela ne soit pas précisé dans tous les cas, la maison étanche semble, en pratique, se distinguer par une surface de fuite équivalente d'au plus 0,05 m². Il faut ménager une source particulière d'air comburant dans les maisons étanches; mais cela n'est habituellement pas nécessaire dans les maisons d'étanchéité moyenne, où les infiltrations d'air sont jugées suffisantes.

Les lignes directrices relatives à la maison R-2000 à très haut rendement énergétique, dont la surface de fuite équivalente est habituellement inférieure à 0,03 m², interdisent l'emploi d'appareils à tirage naturel et préconisent celui d'appareils à système d'évacuation directe (étanché) et tirage induit ou forcé. Ce genre d'appareil tire l'air comburant nécessaire directement de l'extérieur et son mécanisme de tirage induit ou forcé est moins sensible à l'étanchéité de la maison. L'appareil est en outre équipé d'un coupe-circuit automatique en cas de manquement du tirage. Il offre une autre solution pour les maisons où l'on a exécuté des travaux de réfection. De toute façon, quand la réfection rend la maison assez étanche, il faut s'assurer que l'approvisionnement en air comburant est suffisant pour garantir un bon tirage. En cas de doute, consulter un entrepreneur en chauffage.

Le foyer, qui, lui aussi, a besoin d'air comburant, peut contribuer à faire échec au tirage des autres appareils à combustion et subir l'effet de l'étanchéité de la maison. Il pose un problème de ventilation bien particulier et un danger possible dans les maisons étanches.

Les lignes directrices relatives à la maison R-2000 exigent que les foyers traditionnels soient équipés de portes de verre bien jointives et d'une prise d'air à l'extérieur donnant directement dans la chambre de combustion. Ces mesures sont souhaitables dans toute maison assez étanche. À tout le moins, il faut prévenir le propriétaire de la possibilité d'un manque de tirage, plus particulièrement lorsque le feu couve. L'ouverture d'une fenêtre à l'étage inférieur, dans un endroit directement relié à la pièce où se trouve le foyer peut fournir l'air comburant nécessaire.

11.2 CONCEPTION DU SYSTÈME DE VENTILATION

Pour doter la maison à bon rendement énergétique d'un système de ventilation efficace, il faut tenir compte des points suivants :

- Le système doit assurer un taux de ventilation qui garantit la salubrité de l'air dans les circonstances normales énoncées en 11.2.1.
- Il doit pouvoir évacuer les odeurs, les polluants et l'humidité à la source.
- Il doit pouvoir distribuer l'air admis dans toutes les pièces de la maison.
- Il doit apporter l'air frais sans inconforter les occupants.
- Il ne doit pas augmenter les risques d'inversion de tirage des appareils à combustion.
- Il doit être installé et fonctionner de manière à limiter les frais d'énergie.
- Ses commandes doivent en permettre le réglage automatique ou manuel.

Lorsque le système de ventilation répond aux critères susmentionnés, il distribuera vraisemblablement l'air de façon sure et confortable dans la maison. Son installation doit en général être confiée à un entrepreneur en CVC, surtout lorsqu'elle se fait en complément de modifications du système de chauffage. Elle devrait d'ailleurs respecter les principes suivants :

- **L'emplacement** de l'équipement doit viser à limiter le plus possible la longueur des conduites et les bruits dus aux vibrations et permettre d'y avoir facilement accès pour l'entretien.

- **Les commandes** du système doivent être réglées de façon à assurer le fonctionnement continu à petite vitesse, une commande manuelle ou automatique permettant d'accélérer le débit au besoin. La plupart des commandes comportent habituellement un capteur d'humidité.

- **Les conduites** doivent être installées de manière à limiter les pertes de pression statique. Un trop grand nombre de coudes risque de diminuer beaucoup l'air véhiculé par le système. Toute conduite transportant de l'air froid doit être bien isolée et enveloppée d'un humidifuge éliminant l'accumulation de condensation sur ses parois.

- **Les grilles de distribution** doivent être conçues de manière à ne pas soumettre les occupants de la maison à des courants d'air froid. Il faut donc les placer soit assez haut sur le mur, soit au plancher en dirigeant le débit d'air vers le mur plutôt que le centre de la pièce.

11.2.1 Dimensionnement du système de ventilation

Le système de ventilation doit pouvoir satisfaire à des besoins précis d'approvisionnement en air frais. La plupart des recommandations (y compris celles du *Code national du bâtiment*) s'inspirent de la nécessité d'installer un système **capable** d'assurer un taux de ventilation égal à 0,5 renouvellement d'air à l'heure (rah) ou 5 L/s par pièce. Ainsi, dans une maison au volume de 566 m³, le système de ventilation doit pouvoir déplacer 283 m³ d'air à l'heure.

Il n'est pas nécessaire que le système fonctionne constamment à ce taux de ventilation élevé (0,5 rah). Il doit toutefois être conçu pour assurer un taux de ventilation continu minimal d'un peu plus de 0,3 rah et pouvoir assurer un débit plus élevé au besoin.

11.2.2 Types de systèmes de ventilation

Le système de ventilation doit être conçu de manière à ne pas créer de trop grands écarts de pression de part et d'autre de l'enveloppe. On sait qu'une forte dépression peut augmenter les risques d'inversion du tirage des appareils à combustion et aggraver les problèmes de qualité de l'air causés par les émanations de gaz du sol (radon). D'un autre côté, une pression positive élevée augmente les risques d'humidité au niveau des murs, des fenêtres et du toit. Il importe donc que la pression interne demeure à peu près la même, que le système soit en marche ou non. Il y a essentiellement trois modes de fonctionnement des systèmes de ventilation.

Les **systèmes d'évacuation** comportent des ventilateurs servant uniquement à évacuer l'air d'endroits comme la cuisine, les salles de bains, la buanderie et l'atelier (figure 11.1). Dans ce cas, la dépression minime de l'air de la maison par rapport à l'atmosphère favorise l'infiltration d'air frais (d'appoint) par les fissures et les fentes de l'enveloppe du bâtiment ou son admission par des orifices ménagés exprès, à différents endroits. Pour éviter une dépression prononcée, il faut concevoir le système d'évacuation de façon que l'air d'appoint suffise à empêcher la dépressurisation de la maison jusqu'au point de créer des problèmes. De plus, lorsqu'on aménage l'admission d'air, il faut prévoir un moyen d'adoucir l'air plus froid qui vient de l'extérieur.

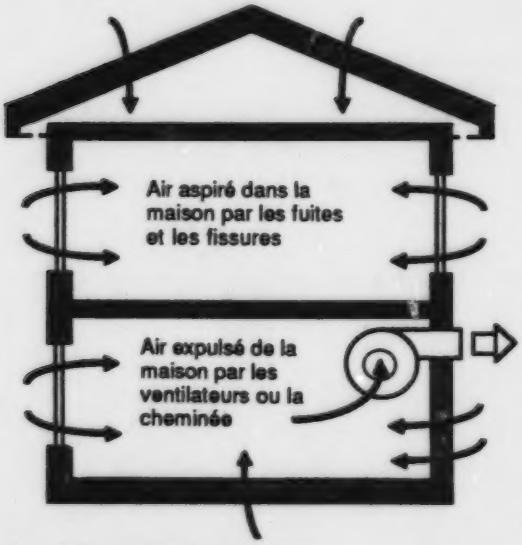


Fig. 11.1 Systèmes d'évacuation

Les **systèmes d'alimentation** comportent des ventilateurs servant exclusivement à faire entrer l'air frais dans la maison, l'air d'évacuation s'échappant par les fentes et fissures de l'enveloppe ou étant évacué par des sorties aménagées exprès à différents endroits de la maison (figure 11.2). Comme la pression intérieure est supérieure à celle de l'atmosphère, il y a risque d'augmentation d'humidité dans les murs extérieurs et dans les plafonds. Pour ces raisons et comme il est alors difficile d'assurer un niveau de confort acceptable, l'installation de ce genre de systèmes de ventilation n'est pas recommandée dans les maisons à haut rendement énergétique.

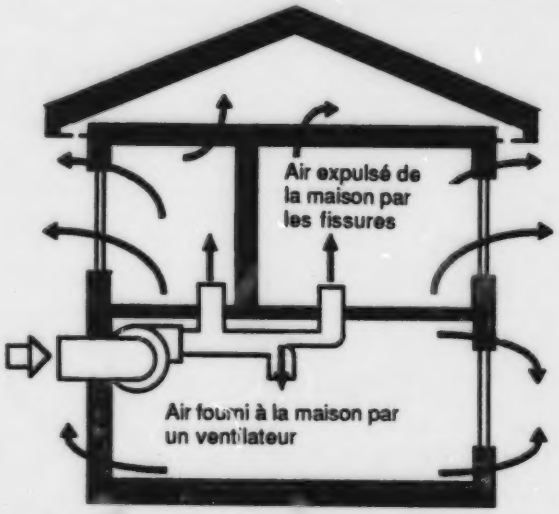


Fig. 11.2 Systèmes d'alimentation

Les **systèmes de ventilation** équilibrés comportent à la fois des ventilateurs d'alimentation et des ventilateurs d'évacuation, qui, combinés, assurent un taux de ventilation acceptable (figure 11.3). Le système équilibré assure le même débit d'air à la sortie qu'à l'admission. Il atténue la plupart des difficultés associées à une dépression ou à une pression positive. Sa conception et son installation doivent toutefois tenir compte de la fraîcheur de l'air admis et la compenser par une forme quelconque de préchauffage ou encore prévoir un mélange d'air frais et d'air chauffé qui permet la diffusion de l'air dans la maison à une température acceptable.

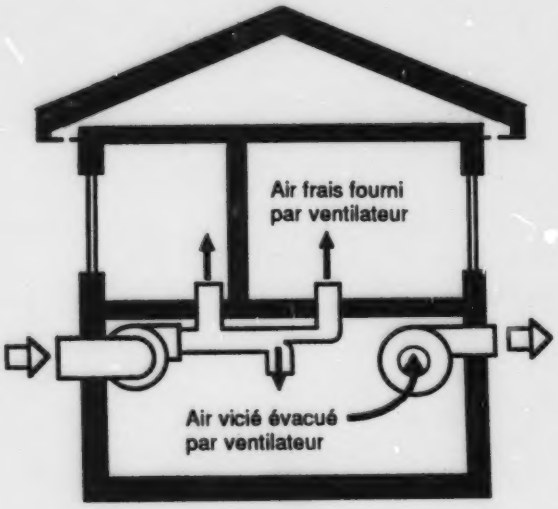


Fig. 11.3 Systèmes équilibrés

11.2.3 Adoucissement de l'air d'admission

Pour éviter tout inconfort, il faut adoucir ou préchauffer l'air frais admis dans la maison. Il y a différentes façons de le faire.

- Le ventilateur-récupérateur de chaleur permet de recouvrer la chaleur de l'air évacué et d'employer celle-ci pour tiédir l'air frais admis (figure 11.4). Ce genre d'appareil comporte les commandes et les ventilateurs nécessaires au système. Il a aussi l'avantage de permettre des économies d'énergie par la récupération de la chaleur contenu dans l'air évacué.
- On peut aussi installer un élément de préchauffage dans la conduite d'admission d'air frais, pour tiédir l'air qui entre dans la maison. Ce dispositif consiste habituellement en un élément électrique ou un serpentin d'eau chaude.
- Enfin, on peut réchauffer l'air froid de l'extérieur en le mélangeant avec de l'air de l'intérieur. Cela se fait, par exemple, en admettant de l'air froid dans la reprise d'air du système de chauffage à air chaud (figure 11.5).

L'entrepreneur doit naturellement évaluer la rentabilité du système installé en collaboration avec le propriétaire.

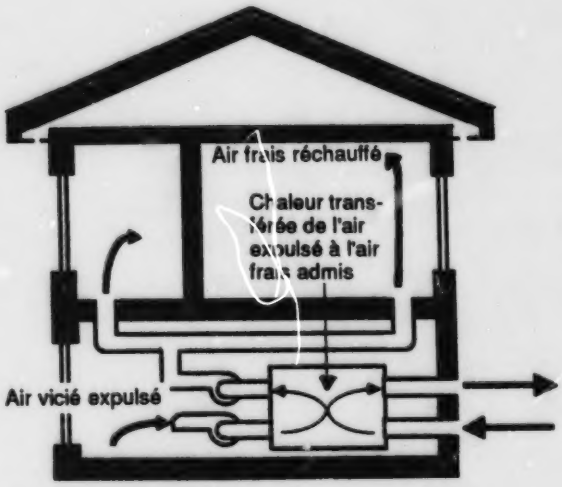


Fig. 11.4 Ventilateur-récupérateur de chaleur

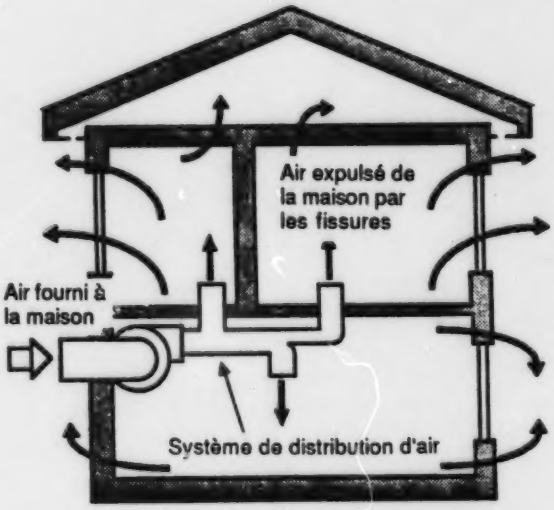


Fig. 11.5 Intégration au système de distribution d'air

11.3 RÉPERCUSSIONS SUR LE SYSTÈME DE CHAUFFAGE

La réduction de la charge de chauffage résultant de la réfection modifiera de plusieurs façons les besoins auxquels le système de chauffage doit satisfaire. D'abord, on ne fera appel qu'à une faible portion de la capacité nominale du système. Autrement dit, le brûleur sera éteint pendant de plus longs moments, ce qui risque d'en diminuer le rendement saisonnier. La diminution de la charge de chauffage de la maison peut aussi se refléter sur la distribution de la chaleur. Enfin, étant donné l'étanchéité supérieure de la structure, il y aura moins d'air comburant à la disposition du système de chauffage.

L'une des grandes décisions à prendre à la suite de la réfection concerne l'éventuel remplacement du système de chauffage. Toute décision à ce propos devrait viser à garantir à l'occupant l'atmosphère intérieure la plus saine et le plus grand confort thermique et faire en sorte que le système satisfasse à tous les règlements en vigueur. L'occupant aura deux possibilités : il pourra modifier son système pour l'adapter aux nouveaux besoins de la maison ou le remplacer par un système de chauffage à meilleur rendement.

Il faut évaluer très attentivement la rentabilité de l'une et l'autre solution. L'amélioration ou le remplacement de l'équipement de chauffage aux seules fins d'économiser l'énergie peut ne pas se justifier dans le cadre d'une réfection, étant donné les besoins de chauffage diminués résultant de la réfection et la longue période de récupération qui s'ensuit. Par exemple, une amélioration majeure du système de chauffage peut en augmenter le rendement de 20 %. Si la facture de combustible de l'occupant s'établit à 1 000 $, cela se traduit par une économie anuelle de 200 $. Or, dans une maison à bon rendement énergétique, la même amélioration évaluée en fonction d'une facture de chauffage de 375 $ entrainera une économie de 75 $ seulement.

Dernier point auquel l'entrepreneur et le propriétaire devraient porter attention : l'alimentation en **air comburant** des systèmes de chauffage à combustion, telle qu'on l'a mentionnée en 11.1.2. Les appareils à combustion classiques installés dans une maison étanche doivent avoir leur propre source d'air comburant provenant directement de l'extérieur, conformément aux exigences des codes provinciaux pertinents. Beaucoup de spécialistes de l'habitation à bon rendement énergétique recommandent de ne pas installer d'appareils à combustion par tirage naturel dans les maisons étanches, étant donné les risques d'inversion de tirage du système de chauffage que cela entraine. Lorsqu'on ne peut justifier le remplacement du système existant, l'entrepreneur doit s'assurer qu'on a réglé la question de l'approvisionnement en air comburant.

Le tableau 11.1 résume les besoins en air comburant des différents modèles d'appareils et donne une idée de la diminution de la demande dans les maisons équipées d'un système de chauffage plus moderne à haut rendement.

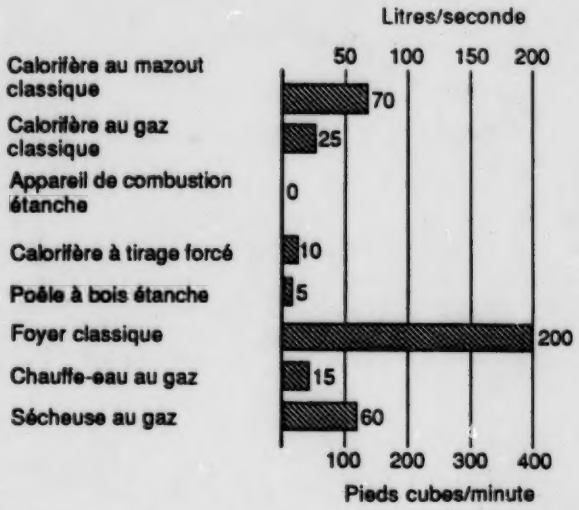


Tableau 11.1 Demande d'air comburant

11.3.2 Amélioration et remplacement du système de chauffage

Étant donné la nature des systèmes de chauffage à l'électricité, leur amélioration se limite au perfectionnement du système de distribution (se reporter à la section 11.4).

Dans le cas des systèmes au gaz, les solutions sont aussi assez limitées. Toutefois, il y a dans le commerce des échangeurs de chaleur à condensation qu'on peut leur ajouter pour en améliorer le rendement d'ensemble.

Dans le cas des systèmes de chauffage au mazout, l'entrepreneur peut envisager d'augmenter le rendement des appareils plutôt que d'engager les grandes dépenses que suppose leur remplacement. Il y a divers moyens d'améliorer le rendement d'un système au mazout. Ainsi, on peut :

- Réduire le gicleur du brûleur pour diminuer la quantité de mazout consommée et, par conséquent, la chaleur produite. Comme la plupart des appareils sont surdimensionnés, le brûleur fonctionnera plus longtemps, avec plus d'efficacité.
- Remplacer le brûleur par un modèle à tête de retenue donnant un meilleur rendement.
- Installer une soupape électronique à retardement pour augmenter le rendement du système de chauffage, en en accroissant l'efficacité au démarrage.
- Substituer un brûleur au gaz naturel au brûleur au mazout, pour convertir le système de chauffage au gaz naturel.

Options de remplacement

Il ne faudrait remplacer le système de chauffage que s'il est en mauvais état ou pratiquement arrivé au bout de sa durée utile. En règle générale, le remplacer dans le seul but d'économiser l'énergie ne peut se justifier dans le cadre d'une réfection favorisant un bon rendement énergétique.

Lorsqu'on souhaite remplacer le système de chauffage, il faut tenir compte de divers facteurs, notamment :

- prendre en considération la disponibilité et le prix des divers combustibles, ainsi que le coût de l'aménagement de nouvelles canalisations d'alimentation, de l'entreposage ou d'un entretien plus fréquent et
- évaluer le genre de matériel requis en fonction du type de combustible, des besoins en air comburant, du coût, du rendement thermique, de la production de chaleur, des modifications qui devront être apportées à la cheminée, des déclarations de garantie et d'entretien et de la facilité d'installation.

Le remplacement du système de chauffage d'une maison à bon rendement énergétique comporte plusieurs options :

- calorifères au gaz ou au mazout à rendement moyen ou élevé;
- radiateurs-plinthes électriques et générateurs électriques d'air chaud pulsé;
- pompes à chaleur électriques;
- éléments chauffants électriques aménagés dans le plénum, lorsque la maison est équipée d'un système de chauffage central à air pulsé - Dans les maisons traditionnelles, ce genre de dispositif sert de source de chauffage complémentaire. Dans la maison à bon rendement énergétique, il peut tenir lieu de source de chauffage principale. L'utilisation de ce dispositif peut s'avérer un avantage lorsque les combustibles sont plus coûteux ou qu'il faudrait autrement remplacer le système.

Pour de plus amples renseignements à ce propos, se reporter aux publications suivantes d'Énergie, Mines et Ressources Canada : *Les systèmes de chauffage : guide du consommateur* et *Systèmes efficaces de chauffage résidentiel au mazout*.

11.4 "RÉGLAGE FIN" DU SYSTÈME DE DISTRIBUTION

L'entrepreneur qui supervise l'amélioration du système de chauffage d'une maison doit être conscient des avantages possibles d'un réglage fin du système de distribution de la chaleur. Que la maison soit équipée d'un système central à air pulsé ou d'un système à eau chaude, la distribution de la chaleur peut toujours être améliorée. Or toute amélioration à ce titre augmente le confort et diminue la consommation de combustible.

Le réglage fin d'un système central à air pulsé peut obliger à :

- modifier le débit du ventilateur et sa commande;
- rééquilibrer le système de distribution en fonction du nouveau milieu créé par les travaux de réfection;
- poser du ruban isolant par-dessus les joints des conduites pour empêcher les fuites d'air et, aux endroits où les conduites traversent un espace non isolé, les envelopper de matériaux isolants;
- voir si les registres de plancher et les grilles de retour d'air sont aux bons endroits.

Le réglage fin d'un système de chauffage à eau chaude peut amener à :

- installer ou remplacer une pompe de circulation;
- isoler les canalisations traversant les espaces plus frais ou non chauffés;
- s'assurer que les radiateurs ne sont pas masqués et que l'air circule librement autour d'eux;
- équiper les radiateurs de soupapes commandées par thermostat, afin de pouvoir mieux contrôler la température de chaque pièce.

Dans tous les cas, on peut aussi devoir moderniser les commandes du système.

11.4.1 Thermostat

Le thermostat doit se trouver à un endroit où il n'est pas sujet à des conditions extrêmes, c.-à-d. où il n'est pas exposé aux rayons du soleil ou à l'air froid de l'extérieur, car cela nuirait au bon fonctionnement du système de chauffage. Il faut en vérifier le réglage, puisque celui-ci a une grande influence sur le fonctionnement du système de chauffage.

Si jamais on doit ou souhaite installer un nouveau thermostat, on n'aura que l'embarras du choix de dispositifs automatiques. Certains modèles sont même programmables.

L'entrepreneur devrait d'ailleurs renseigner l'occupant sur les avantages des abaissements et relèvements programmés de la température, puisqu'on peut souvent économiser l'énergie en abaissant la température la nuit ou le jour.

11.5 CHAUFFE-EAU

Le système de chauffage excepté, le chauffe-eau est le plus grand consommateur d'énergie de la maison. Son fonctionnement peut aussi subir les effets d'une réfection de la maison entière. Tout dépendant de l'étanchéité de la maison, le chauffe-eau peut lui aussi connaître des problèmes d'alimentation en air comburant, du genre de ceux qui affectent le système de chauffage et qu'on a décrits en 11.1.2. Il y a différents moyens de régler ces problèmes. On peut :

- installer un chauffe-eau électrique, qui n'a pas besoin d'air comburant,
- aménager un chauffe-eau qui tire l'air comburant dont il a besoin de l'extérieur ou
- assortir au chauffe-eau une prise d'air donnant directement à l'extérieur.

Il y a maintenant dans le commerce divers modèles de chauffe-eau à bon rendement énergétique. Tenir compte des considérations exposées ci-après lorsqu'on doit remplacer le chauffe-eau.

- Certains chauffe-eau sont mieux isolés que d'autres. Cela tient à l'emploi d'un isolant plus épais ou différent.
- Certains systèmes de chauffage à haut rendement comportent un chauffe-eau intégré.
- Il existe des chauffe-eau équipés d'une pompe à chaleur électrique, qui recueille la chaleur de l'air du sous-sol ou du courant d'air d'évacuation du système de ventilation.
- Les chauffe-eau qui tirent l'air comburant de l'extérieur ont un rendement d'environ 20 % supérieur à celui des chauffe-eau classiques.
- Les chauffe-eau de point d'utilisation, dits aussi chauffe-eau instantanés, peuvent servir à éliminer les pertes au niveau du réservoir. Ces appareils sont parfois avantageux, notamment pour alimenter une salle de bains éloignée du chauffe-eau central, car ils permettent d'éviter les pertes le long des canalisations et les frais de plomberie qui augmentent le coût du système traditionnel.

Lorsqu'on garde le chauffe-eau originel et qu'on doit le déplacer pour exécuter des travaux de rénovation, en profiter pour apporter des modifications qui en augmenteront le rendement énergétique. Dans ce cas :

- Déménager le chauffe-eau à un endroit plus central, compte tenu du réseau de canalisations d'eau chaude de la maison. - Cela diminuera les pertes de chaleur le long des canalisations et réduira le volume d'eau nécecessaire pour amener l'eau chaude au robinet.
- Installer le chauffe-eau sur une plaque d'isolant rigide pour diminuer les pertes de chaleur par la dalle du sous-sol.
- Mettre un collecteur de chaleur à la sortie d'eau chaude du chauffe-eau (figure 11.6).

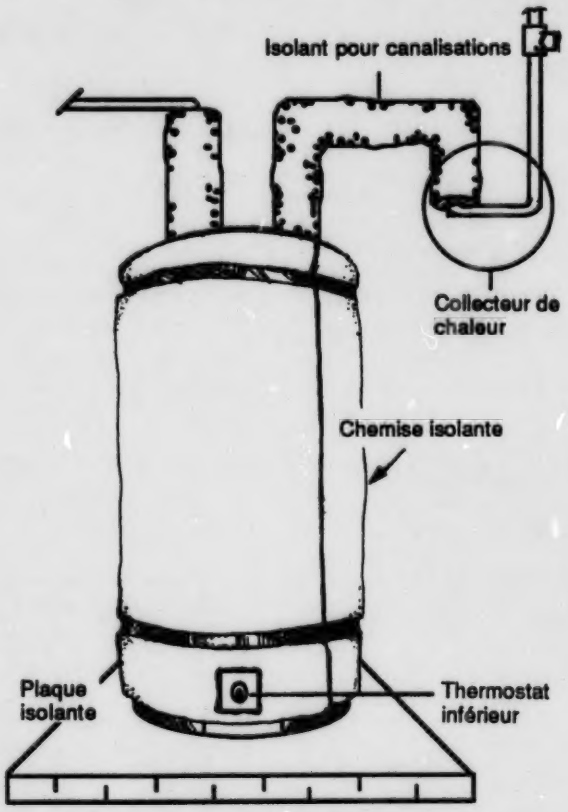


Fig. 11.6 Chauffe-eau équipé d'un collecteur de chaleur

Même quand on laisse le chauffe-eau où il est, il y a moyen de diminuer la consommation d'eau chaude et de rendre l'appareil plus efficace.

- Envelopper le chauffe-eau d'une chemise isolante, en veillant à ne pas en masquer le thermostat, s'il s'agit d'un modèle électrique, ni en recouvrir le haut et le bas, pour assurer une bonne alimentation en air comburant et en air de dilution, s'il s'agit d'un appareil au gaz ou au mazout.
- Isoler les canalisations d'eau chaude traversant un espace non chauffé.
- Abaisser la température de l'eau du réservoir, en ramenant le thermostat à 49 °C. - S'il y a un lave-vaisselle dans la maison, on peut toutefois devoir régler l'appareil à 60 °C.
- Installer dans la maison des dispositifs économiseurs d'eau, telles les pommes de douche à débit réduit.

ANNEXE A : RÉFÉRENCES TECHNIQUES

A.1 CONVERSION AU SYSTÈME MÉTRIQUE

A.1.1 Dimensions courantes des matériaux

Système impérial	Système métrique	Valeur isolante nominale (nattes en fibres de verre) Valeur RSI	Valeur R
2 po x 2 po	38 mm x 38 mm	0,9	5
2 po x 3 po	38 mm x 64 mm	1,4	8
2 po x 4 po	38 mm x 89 mm	2,1	12
2 po x 6 po	38 mm x 140 mm	3,5	20
2 po x 8 po	38 mm x 190 mm	4,9	28
2 po x 10 po	38 mm x 235 mm	7,0	40
2 po x 12 po	38 mm x 286 mm	8,8	50
Polystyrène rigide (Type II)	25 mm	0,7	4
Polystyrène rigide (Type IV)	25 mm	0,9	5
2 pi x 8 pi	600 mm x 2 400 mm		
4 pi x 8 pi	1 200 mm x 2 400 mm		
16 po d'entraxe	400 mm		
24 po d'entraxe	600 mm		
1 po	25,4 mm		
1 1/2 po	38,0 mm		
2 po	51,0 mm		

A.1.2 Autres unités de mesure

Mesure	Unité d'arrivée	Unité de départ	Facteur de conversion
longueur	mm	po	25,4
	m	pi	0,3048
superficie	m^2	pi^2	0,0929
		$verge^2$	0,836127
volume	m^3	pi^3	0,028317
		$verge^3$	0,764555
poids	kg	lb	0,454
débit	L/s	pi^3/m	0,471947
énergie	Wh	BTU-h	0,293072
résistance thermique	RSI	R	0,1761
résistance thermique par unité d'épaisseur	RSI/mm	1 R/po	0,0693
perméance (vapeur d'eau)	ng/Pa s m^2	1 gr/h pi^2	57,5
résistance au passage de l'humidité	Pa s m^2/ng	1 h pi^2/gr	0,174

A.2 RÉSISTANCE THERMIQUE

Matériau de construction	RSI/mm (moyenne)	RSI pour l'épaisseur indiquée
Isolant		
Fibre de verre en nattes	0,022	
Laine minérale en nattes	0,023	
Fibre de verre en vrac (injectée)	0,020	
Fibre de verre en vrac (versée)	0,021	
Laine minérale en vrac (injectée)	0,019	
Laine minérale en vrac (versée)	0,021	
Fibre cellulosique injectée (après tassement)	0,025	
Fibre cellulosique versée (après tassement)	0,024	
Mica expansé (vermiculite, zonolite, etc.)	0,016	
Polystyrène en vrac (filamenté ou en boulettes)	0,020	
Polystyrène expansé (rigide)	0,027	
Polystyrène extrudé (rigide)	0,035	
Polyuréthane-polyisocyanurate (rigide)	0,042	
Polyuréthane (pulvérisé)	0,042	
Revêtement en fibres de verre	0,031	
Fibre de bois	0,023	
Copeaux de bois	0,017	
Liège	0,026	
Panneau en fibres de verre pour couverture	0,028	
Panneau de granulats minéraux	0,018	
Panneau de paille comprimé	0,014	
Carton-fibre comprimé	0,019	
Matériaux de charpente		
Bois tendre (sauf le cèdre)	0,0087	
Billes et bois d'oeuvre en cèdre	0,0092	
Béton		
2 400 kg/m³	0,00045	
1 760 kg/m³	0,0013	
480 kg/m³	0,0069	
Bloc de béton (à 3 alvéoles ovales)		
Sable et gravier		
100 mm		0,12
200 mm		0,20
300 mm		0,22
Laitier		
100 mm		0,20
200 mm		0,30
300 mm		0,33
Granulats légers		
100 mm		0,26
200 mm		0,35
300 mm		0,40
Brique ordinaire		
Argile ou schiste, 100 mm		0,07
Mélange de béton, 100 mm		0,05
Pierre (roche calcaire ou grès)	0,00060	
Acier	0,000022	
Aluminium	0,0000049	
Verre (sans lame d'air), 3 mm - 6 mm		0,01

Matériau de construction	RSI/mm (moyenne)	RSI pour l'épaisseur indiquée
Air		
Lame d'air dans un espace scellé (en contact avec des matériaux non réfléchissants)		
Flux ascendant, 20 mm - 100 mm		0,15
Flux descendant, 20 mm - 100 mm		0,18
Flux à l'horizontale, 20 mm - 100 mm		0,17
Lame d'air superficielle		
Lame d'air extérieur (air en mouvement)		0,03
Lame d'air intérieur (air stagnant)		
Lamehorizontale, flux ascendant		0,11
Lameà 45°, flux ascendant		0,11
Lamehorizontale, flux descendant		0,16
Lameverticale, flux à l'horizontale		0,12
Lamed'air dans l'entretoit		0,08
Couverture		
Matériau bitumé de couverture (en rouleaux)		0,03
Bardeaux d'asphalte		0,08
Bardeaux de bois (cèdre)		0,17
Couverture multicouche (appliquée à chaud)		0,06
Pierre concassée (non séchée)	0,00055	
Matériaux de revêtement		
Contreplaqué de bois tendre	0,0087	
Panneau de particules pressé à plat	0,0087	
Carton-fibre isolant	0,017	
Placoplâtre	0,0062	
Papier de revêtement	0,00040	
Pare-vapeur de papier kraft enduit d'asphalte	négligeable	
Pare-vapeur de polyéthylène	négligeable	
Matériau de parement		
Bardage de carton-fibre comprimé		
Carton-fibre de densité moyenne, 9,5 mm		0,10
Carton-fibre de densité élevée, 9,5 mm		0,08
Bardage de bois tendre (à recouvrement)		
À mi-bois (18 mm sur 184 mm)		0,14
À clin (12 mm sur 184 mm)		0,14
À clin (19 mm sur 235 mm)		0,18
Contreplaqué (9 mm)		0,10
Bardeaux de bois		0,17
Brique (argile ou schiste), 100 mm		0,08
Brique (béton et silico-calcaire), 100 mm		0,05
Stucco, 25 mm	0,0014	0,03
Bardage métallique		
Planche à clin horizontale		0,12
Planche à clin horizontale doublée		0,25
Planche verticale avec rainure en V		0,12
Planches verticales et couvre-joint	négligeable	
Finition intérieure		
Placoplâtre, latte de placoplâtre, 13 mm	0,0062	0,08
Enduit au plâtre et		
Sable, 13 mm	0,0014	0,02
Granulat léger, 13 mm	0,0044	0,06
Contreplaqué, 7,5 mm	0,0093	0,07
Carton-fibre comprimé (standard), 6 mm	0,0053	0,03
Carton-fibre isolant, 25 mm	0,017	0,42
Panneau de mur sec, placoplâtre, 13 mm	0,0061	0,08

Matériau de construction	**RSI/mm (moyenne)**	**RSI pour l'épaisseur indiquée**
Couvre-plancher		
Érable ou chêne (bois dur), 19 mm	0,0063	0,12
Pin ou sapin (bois tendre), 19 mm	0,0089	0,17
Contreplaqué, 16 mm	0,0088	0,14
Panneau de particules pressé à plat, 16 mm	0,088	0,14
Carreaux de fibres de bois, 13 mm	0,016	0,21
Linoléum ou carreau (élastique), 3 mm		0,01
Terrazzo, 25 mm	0,00056	0,01
Moquette, épaisseur usuelle		
et thibaude de fibres		0,37
et sous-couche de caoutchouc		0,23
Fenêtres (avec lame d'air intérieure et extérieure)		
Vitrage simple		0,15
Double vitrage isolé		
Lame d'air de 5 mm		0,25
Lame d'air de 6 mm		0,27
Lame d'air de 13 mm		0,30
Lame d'air de 19 mm		0,33
Triple vitrage isolé		
Lame d'air de 6 mm		0,38
Lame d'air de 13 mm		0,49
Lame d'air de 19 mm		0,50
Contre-châssis		
Vitrage simple et lame d'air de 25 mm à 100 mm		0,35
Double vitrage isolé de 19 mm avec lame d'air de 89 mm		0,49

A.3 PERMÉANCE DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION COURANTS

Les matériaux ayant démontré assez de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau pour servir de pare-vapeur sont cotés ici en fonction de leur perméance. Plus l'indice de perméance est faible, plus le pare-vapeur est efficace. Le *Code national du bâtiment* définit un pare-vapeur de type 1 comme un matériau ayant un indice de perméance d'au plus 15. Les pare-vapeur de type 2 sont ceux dont l'indice de perméance ne dépasse pas 45.

Matériau	Perméance (ng/Pa s m²)
Pare-vapeur	
Feuille d'aluminium de 0,03 mm (1 mil)	1
Feuille d'aluminium de 0,01 mm (0,35 mil)	3
Polyéthylène de 0,10 mm (4 mils)	3
Polyéthylène de 0,15 mm (6 mils)	5
Polyéthylène de 0,05 mm (2 mils)	9
Chlorure de polyvinyle non plastifié de 0,5 mm (2 mils)	38
Polyester de 0,3 mm (1 mil)	40
Papier kraft enduit d'asphalte	43
Peinture et papier peint	
2 couches de peinture d'asphalte sur contreplaqué	23
2 couches de peinture d'aluminium	29
1 couche de peinture pare-vapeur au latex	34
3 couches de peinture blanche à l'huile ou au plomb sur bardage de bois	37
3 couches de peinture blanche au plomb, à l'oxyde de zinc ou à l'huile sur bois	53
Papier peint de vinyle (épaisseur normale)	56
3 couches de peinture à l'huile sur bois	56
2 couches de peinture à l'huile sur plâtre	111
3 couches de peinture au latex sur bois	500
Papier peint ordinaire	1 000
Isolant	
Polyuréthane de 25 mm	56
Polystyrène extrudé de 25 mm	36
Polystyrène expansé de 25 mm	250
Laine minérale de 100 mm	1 666
Fibre cellulosique de 100 mm	1 666
Fibre de verre de 100 mm	1 666
Autres matériaux de construction	
Maçonnerie de carreaux vitrifiés de 100 mm	7
Papier de construction	111
Contreplaqué de catégorie CDX de 13 mm	29
Panneau d'amiante-ciment de 5 mm	31
Brique de 100 mm	56
Bloc de béton de 200 mm	111
Planche de 19 mm (bois)	167
Carton-fibre comprimé de 3 mm	500
Papier goudronné de 6,8 kg	1 000
Plâtre	1 111
Papier de revêtement intermédiaire	2 500
Panneau de placoplatre	3 333
Panneau isolant de 13 mm	3 333
Polyoléfine non tissée	5 458

ANNEXE B : BIBLIOGRAPHIE ANNOTÉE

Titre	**Isolation thermique du sous-sol, du vide sanitaire et de la dalle sur le sol**
Auteur(s)	Marbek Resource Consultants Ltd.
Éditeur(s)/Date	Ressources naturelles Canada, 1987
Distributeur(s)	Ressources naturelles Canada 580, rue Booth Ottawa, (Ontario) K1A 0E4
Observations	Ce manuel décrit les techniques d'économie d'énergie convenant au sous-sol, ainsi que leurs effets. Il comporte un exposé des considérations structurales dont il faut tenir compte et des effets possibles de l'eau et du sol environnant sur l'isolant posé à l'intérieur ou à l'extérieur au-dessous du niveau du sol.

Titre	**Humidité condensation et ventilation dans les maisons**
Auteur(s)	Conseil national de recherches Canada
Éditeur(s)/Date	Conseil national de recherches Canada, 1984
Distributeur(s)	Conseil national de recherches Canada Ottawa (Ontario) K1A 0R6
Observations	Cette brochure est un recueil d'exposés faits par le personnel du Conseil national de recherches dans le cadre de la série Regard 83 : Science du bâtiment. Il s'agit d'un sommaire très utile des phénomènes occasionnant des problèmes d'humidité et de quelques-unes des mesures préventives pertinentes. On y trouve aussi une liste des questions posées le plus fréquemment au cours de la série d'ateliers.

Titre	**Insulation Retrofit of Masonry Basements**
Auteur(s)	Timusk, John
Éditeur(s)/Date	Section de la recherche et du développement, ministère des Affaires municipales et du Logement de l'Ontario, 1981
Distributeur(s)	Épuisé
Observations	Cette étude en profondeur doit son utilité au fait qu'elle porte sur de nombreux types de fondations susceptibles de faire l'objet de travaux de réfection.

Titre	**Major Energy Conservation Retrofits: A Planning Guide for Northern Climates**
Auteur(s)	National Center for Appropriate Technology
Éditeur(s)/Date	U.S. Department of Energy, 1984
Distributeur(s)	National Center for Appropriate Technology P.O. Box 3838 Butte, MT 59702
Observations	Cette brochure offre un aperçu des considérations techniques et pécuniaires de travaux de réfection majeurs. Elle renferme des calculs de la valeur RSI et du coût d'exécution pour plusieurs types de murs.

Titre	**Guide du constructeur R-2000**
Auteur(s)	ETA Group
Éditeur(s)/Date	Association canadienne des constructeurs d'habitations, janvier 1987
Distributeur(s)	Association canadienne des constructeurs d'habitations 200, rue Elgin, pièce 502 Ottawa (Ontario) K2P 1L5

Il y a des organisations qui publient un grand éventail sur les matériaux de construction. Veuillez contacter les associations suivantes pour obtenir la liste des plus récentes publications :

Centre canadien de documentation sur l'habitation
Société canadienne d'hypothèques et de logement
700, chemin Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0P7

Téléphone : (613) 748-2367; Télécopieur : (613) 748-4069

Institut de recherche en construction
Conseil national de recherches Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0R6

Téléphone : (613) 993-2607; Télécopieur : (613) 954-5984

Association canadienne des constructeurs d'habitations
150, av. Laurier, O., Bureau 200
Ottawa (Ontario)
K1A 5J4

Téléphone : (613) 230-3060; Télécopieur : (613) 232-8214

ANNEXE C : GLOSSAIRE

Adhérence aux fondations en période de gel Adhérence du sol humide aux éléments enfouis, tels les murs de fondation ou l'isolant, qui se déplacent sous l'effet de la poussée

Air comburant Air requis pour fournir suffisamment d'oxygène aux appareils à combustion installés dans un bâtiment. L'expression "air comburant" sert souvent à désigner les besoins globaux en air de ces appareils, qu'il s'agisse de l'air nécessaire à la combustion proprement dite ou de l'air alimentant le tirage de la cheminée (air de dilution).

Air de dilution Air nécessaire à certains systèmes de chauffage à combustion pour protéger le calorifère ou la chaudière des écarts de pression extérieure et maintenir un tirage constant et efficace de la cheminée.

Barrière thermique Matériau de faible conductivité inséré dans un ensemble pour empêcher le transfert de la chaleur par conduction d'un côté de l'ensemble à l'autre. Se dit souvent du matériau inséré à cette fin dans un cadre de fenêtre de métal.

Charge due au vent Effet du vent sur l'écart de pression enregistré de part et d'autre de l'enveloppe du bâtiment et donc sur les fuites d'air.

Condensation Transformation de la vapeur d'eau contenue dans l'air en eau, au contact d'une surface froide.

Conduction Transport de la chaleur à travers un corps par l'action moléculaire.

Convecteur Appareil de chauffage où l'air pénètre par une ouverture située à proximité du sol, y est chauffé à son passage sur des éléments chauffants et ressort dans la pièce par une ouverture supérieure.

Convection Transport de la chaleur causée par le mouvement continu et naturel d'un fluide (air ou liquide), résultant de la montée du fluide chaud et de la descente du fluide refroidi.

Degrés-jours Nombre de degrés marquant l'écart entre une température de base donnée (habituellement 18 °C) et la température extérieure moyenne au cours d'une journée. La somme des degrés-jours au cours de la saison de chauffage indique la rigueur relative de l'hiver à un endroit précis et sert au calcul des besoins de chauffage.

Dépression ou pression négative Pression inférieure à la pression atmosphérique. Dans le domaine du bâtiment résidentiel, se dit d'une pression interne qui est inférieure à la pression extérieure. Une dépression favorise les infiltrations.

Diffusion de la vapeur Déplacement de la vapeur d'eau entre deux endroits par suite d'un écart de pression de la vapeur, indépendamment des déplacements de l'air. Le taux de diffusion est déterminé par 1) l'écart de pression de la vapeur, 2) la distance à parcourir et 3) la perméabilité du matériau à la vapeur d'eau, d'où le choix de matériaux peu perméables comme pare-vapeur dans les bâtiments.

Écart de pression Différence de pression entre le volume d'air contenu dans l'enveloppe de la maison et l'air ambiant.

Effet de cheminée Écart de pression causé par les fluctuations de la densité de l'air, en raison de l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur.

Efflorescence Formation d'un dépôt cristallin à la face d'un mur de maçonnerie, par suite de la filtration des sels que contient la maçonnerie.

Encadrement Boiserie appliquée autour d'une ouverture de porte ou de fenêtre.

Enveloppe Surface extérieure d'un bâtiment, éléments extérieurs, cheminée, fenêtres en saillie, etc. y compris.

Équipement mécanique Expression courante dans le domaine du bâtiment commercial et industriel pour désigner tous les éléments mécaniques d'un bâtiment : plomberie, chauffage, ventilation, climatisation et récupération de chaleur.

Essai de dépressurisation Utilisation d'un ventilateur puissant pour évacuer l'air d'un bâtiment afin de créer un écart de pression au travers de l'enveloppe. L'analyse du débit d'air du ventilateur à des écarts de pression différents donne une idée de l'étanchéité du bâtiment.

Étanchéisation Méthode d'obturation (par l'intérieur) des fentes accidentelles de l'enveloppe du bâtiment, en vue de diminuer les fuites d'air.

Étanchéité Capacité de l'enveloppe du bâtiment de résister aux infiltrations et exfiltrations d'air.

Fuite d'air Passage incontrôlé de l'air à travers un élément de l'enveloppe ou à travers l'enveloppe même, lorsqu'il y a un écart de pression d'un côté à l'autre de l'élément ou de l'enveloppe. Il y a infiltration lorsque l'air pénètre dans la maison de façon incontrôlée et exfiltration lorsqu'il s'en échappe de la sorte.

Gains d'énergie solaire Dans le contexte du chauffage solaire passif, quantité de chaleur captée par l'intermédiaire des fenêtres au cours de la saison de chauffage. Le gain d'énergie solaire net désigne le gain d'énergie solaire diminué des pertes de chaleur par les fenêtres.

Gains thermiques internes Gains de chaleur occasionnés dans une maison par l'éclairage, le fonctionnement des appareils et la présence des occupants.

HOTCAN Programme informatique permettant d'estimer les besoins de chauffage des résidences. Il se fonde principalement sur des équations mises au point par le Conseil national de recherches, pour calculer, entre autres choses, l'équilibre thermique d'une maison, les pertes de chaleur par-dessous le niveau du sol et les gains d'énergie solaire par les fenêtres.

Humidifuge Se dit de tout matériau peu perméable à la vapeur d'eau, utilisé pour limiter la propagation de la vapeur par diffusion.

Humidité relative Quantité d'humidité contenue dans l'air, comparativement à la quantité maximale d'humidité que peut contenir l'air à la même température. S'exprime sous forme de pourcentage.

Humidostat Dispositif électronique de commande et de captage utilisé pour régulariser la ventilation mécanique en fonction de l'humidité relative d'un bâtiment. Lorsque l'humidité relative dépasse un niveau préétabli, l'humidostat déclenche le fonctionnement du système de ventilation pour évacuer l'air de la maison et admettre l'air extérieur plus sec.

Hydrofugeage Procédé par lequel un enduit est appliqué à l'intérieur ou à l'extérieur des murs de fondation ou à un plancher pour empêcher l'humidité d'y pénétrer.

Imperméable Se dit d'un matériau qui s'oppose au passage de la vapeur d'eau ou d'un autre fluide.

Imperméabilisation Procédé de protection d'un mur contre une pression d'eau continue par l'application d'un ou de produits.

Inversion de tirage Refoulement des gaz de combustion dans l'immeuble par le registre barométrique, la hotte de tirage ou le brûleur. Ce phénomène peut tenir à l'obstruction de la cheminée ou se produire en présence d'un écart de pression supérieur à la capacité de tirage de la cheminée.

Mur-rideau Mur décollé de l'ossature d'un bâtiment et solidaire de celui-ci par des points d'accrochage. Ce mur n'appuie aucune charge en compression autre que son propre poids.

Orientation Direction de l'axe ou de la façade d'un bâtiment par rapport aux points cardinaux.

Orientation du bâtiment Positionnement d'un bâtiment sur un lot. Désigne habituellement la position du bâtiment par rapport au soleil et, par extension, l'exposition du bâtiment aux rayons du soleil.

Ossature à claire-voie Charpente de bois dont les poteaux ou montants se prolongent d'une seule venue depuis la lisse basse jusqu'à la sablière sur laquelle repose le toit.

Papier de construction Papier de revêtement perméable à la vapeur d'eau, habituellement employé comme revêtement intermédiaire de l'ossature des murs extérieurs.

Pare-air Matériau soigneusement installé dans l'enveloppe du bâtiment pour limiter le plus possible les infiltrations et exfiltrations incontrôlées d'air.

Pare-intempéries Revêtement extérieur de l'enveloppe de la maison, servant à protéger la structure interne et l'isolant des effets de la pluie et du vent. Habituellement constitué du bardage, du papier de construction et des solins.

Pascal (Pa) Unité de mesure de pression. Les essais d'étanchéité d'une maison sont, en règle générale, effectués à un écart de pression de 50 pascals entre l'extérieur et l'intérieur. Cinquante pascals équivalent à 5,08 mm d'eau à 12,9 °C.

Perméabilité à l'air Propriété que possède un élément du bâtiment de laisser passer l'air, lorsqu'il est soumis à un écart de pression.

Perméance Taux de diffusion de la vapeur d'eau à travers une pellicule de n'importe quelle épaisseur (ou d'un ensemble de surfaces parallèles superposées). Elle marque le rapport du passage de la vapeur d'eau à l'écart de pression de la vapeur de part et d'autre du matériau considéré. La perméance se mesure en perms (m^2/°C/W). Synonyme : perméabilité.

Pertes de chaleur nominales Pertes totales prévues pour un modèle particulier de maison dans des conditions climatiques données.

Pertes par transmission Pertes de chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment par suite des effets combinés de la conduction, de la convection et des rayonnements.

Point de rosée Température à laquelle un mélange d'air et de vapeur d'eau est saturé de vapeur d'eau (c'est-à-dire à laquelle l'humidité relative atteint 100 %) et où le contact de l'air avec une surface de température inférieure à celle-ci provoque la formation de condensation sur la surface.

Pont thermique Voie à faible résistance thermique entre deux surfaces; par exemple : élément d'ossature d'un mur isolé ou bride de métal utilisée dans un mur creux ou dans un mur en panneaux.

Pression de l'air Pression exercée par l'air. On utilise cette expression à la fois pour désigner la pression statique (atmosphérique) et les éléments dynamiques de la circulation de l'air qui en sont la source.

Pression de la vapeur Pression exercée par une vapeur, seule ou dans un mélange de gaz. Par exemple, lorsqu'on parle de vapeur d'eau, la pression de la vapeur est déterminée par la concentration de la vapeur d'eau dans l'air.

Pression positive Pression supérieure à la pression atmosphérique. En bâtiment résidentiel, se dit d'une pression interne supérieure à la pression extérieure. Une pression positive favorise les exfiltrations.

Récupération de chaleur Procédé d'extraction de la chaleur (habituellement contenue dans un fluide) qui serait autrement gaspillée. Ainsi, la récupération de la chaleur dans une maison fait habituellement allusion à l'extraction de la chaleur contenu dans l'air évacué.

Registre de tirage automatique Registre ajouté au tuyau de fumée, en aval d'un calorifère ou d'une chaudière, et raccordé par des commandes automatiques au brûleur. Sa fonction consiste à diminuer les pertes de chaleur par la cheminée, lorsque l'appareil ne fonctionne pas. Ce dispositif permet donc des économies d'énergie très importantes par temps plus clément, lorsque le système de chauffage ne fonctionne pas fréquemment.

Renouvellement d'air à l'heure (rah) Unité exprimant combien de fois par heure le volume d'air de la maison est remplacé par de l'air frais de l'extérieur. Ce renouvellement s'effectue en général de deux façons : 1) dans des conditions normales et 2) compte tenu d'un écart de pression de 50 pascals. Selon le Programme de la maison R-2000, le renouvellement d'air à l'heure doit être égal à 1,5 à 50 pascals.

Résistance thermique (RSI) Mesure métrique de la capacité d'un matériau de résister au transfert de chaleur.

Sol expansif Sol pulvérulent, tel un sol d'argile, de limon ou de sable fin, qui est susceptible de gonfler sous l'action du gel.

Soulèvement dû au gel Gonflement du sol occasionné par le phénomène des glaces de fond ou de rupture des glaces. L'eau que contient le sol non gelé est "attiré" à la zone de gel où elle se dépose en couches de glace, séparant les particules de sol et causant le gonflement de la surface du sol.

Surface de fuite équivalente Surface combinée de toutes les ouvertures accidentelles de l'enveloppe du bâtiment, habituellement exprimée en cm^2.

Système à tirage induit Système de chauffage au gaz équipé d'un ventilateur placé en aval du calorifère. Le ventilateur aspire les gaz du calorifère et les pousse vers l'extérieur, éliminant de ce fait la demande d'air de dilution.

ΔT Symbole dénotant un écart de température.

Température ambiante Température de l'air, 1) à l'extérieur du bâtiment ou 2) dans une pièce.

Transfert de chaleur par rayonnement Transfert d'énergie calorifique d'un point à haute température vers un point à température inférieure, par rayonnement électromagnétique.

U Symbole représentant la conductivité des matériaux. Plus la valeur U est élevée, plus le matériau est susceptible de transférer la chaleur par conduction.

Ventilation contrôlée Ventilation assurée par des moyens mécaniques, tel un ventilateur provoquant des écarts de pression.

Vide sous comble ou entretoit Espace compris entre le plafond de l'étage supérieur et le toit, ainsi qu'entre une cloison naine et un toit en pente.

ANNEXE D : ÉTUDES DE CAS

On trouvera ci-après un rapport sommaire des cinq projets de réfection effectués dans cinq régions du pays.

Étude de cas n° 1

Whitehorse (Territoire du Yukon)
Maison en rondins, un étage avec sous-sol
Construite en 1972
167 m²

Étude de cas n° 2

Maidstone (Saskatchewan)
Maison d'un étage et demi, à trois chambres
Construite en 1920
76 m²

Étude de cas n° 3

Toronto (Ontario)
Maison jumelée, deux étages et ossature de bois
Construite en 1881
121 m²

Étude de cas n° 4

Verdun (Québec)
Habitation multifamiliale
Construite au cours des années 1920
710 m²

Étude de cas n° 5

St-Jean (Nouveau-Brunswick)
Habitation multifamiliale, ossature de bois
Construite en 1841
790 m²

Étude de cas n° 1

Lieu	Whitehorse (Territoire du Yukon)
Type	Maison en rondins, un étage avec sous-sol
Autres données:	
• année de construction	1972
• superficie	167 m²
• degrés-jours	6 780

Partie de la maison	Description — Avant	Description — Après
Sous-sol	• Sans isolant	• Addition de polystyrène extrudé de valeur RSI 2,6 par l'extérieur
Murs	• Faits de rondins de 175 mm de diamètre environ, d'une valeur RSI approximative 1,64	• Calfeutrage des murs pour bloquer les infiltrations • Pose d'un pare-air-vapeur de polyéthylène sur l'extérieur de l'enceinte • Construction d'un mur-rideau extérieur, isolé à l'aide d'un matériau de valeur RSI 4,9
Toit-entretoit	• Sans isolant	• Addition d'isolant de fibres de verre de valeur RSI 7,0
Fenêtres	• Total de huit fenêtres	• Rénovation par l'addition d'un revêtement isolant dans l'embrasure des fenêtres du sous-sol et du rez-de-chaussée
Portes	• Deux portes en bois massif	• Pose de coupe-bise seulement, étant donné que les portes étaient en bon état
Système de chauffage	• Calorifère au mazout	• Mise au point et réglage du calorifère • Isolation du chauffe-eau
Ventilation	• Fuites d'air évaluées à 5,89 rah à 50 Pa, en temps normal, avant la réfection	• Fuites d'air évaluées à 3,20 rah à 50 Pa, en temps normal après la réfection, d'où une baisse de 45,7 %

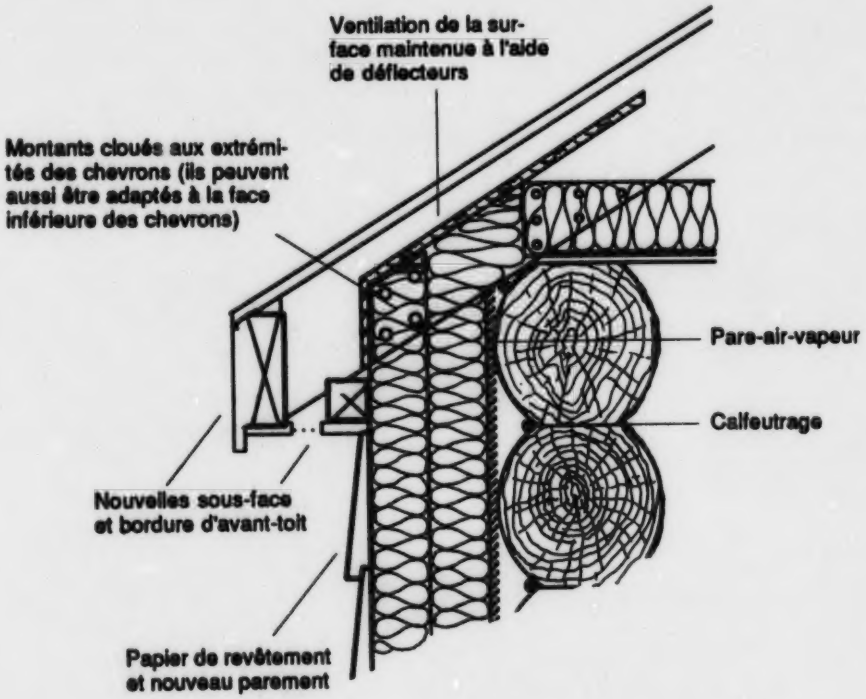
Exécution de la réfection

Au Yukon, les hivers sont longs et froids et, même si le bois a une valeur RSI assez élevée pour un produit naturel, il faudrait des rondins de plus de vingt pouces de diamètre pour assurer une résistance thermique effective de cote RSI 5,0 à 6,0. Les propriétaires de la maison à l'étude ont donc passé plusieurs hivers dans l'inconfort. Leurs principaux problèmes étaient les courants d'air froid, l'humidité et le montant élevé des factures de mazout (plus de 1 000 $ par année).

On a choisi de procéder à la réfection par l'extérieur pour deux raisons précises. D'abord, étant donné les contraintes d'espace, l'addition de nouvelles ossatures murales à l'intérieur aurait trop réduit l'aire de séjour. Ensuite, la réfection par l'extérieur facilitait la pose d'un pare-air-vapeur continu. En enveloppant les murs par l'extérieur, l'entrepreneur a évité les problèmes posés par les cloisons, les escaliers et le plancher.

La réfection de la maison de Whitehorse a donc consisté à refaire totalement l'enveloppe extérieure de la maison. Des murs-rideaux faits de bois de 38 mm sur 64 mm ont été décollés des murs originels, pour permettre l'installation de deux couches d'isolant, la première horizontale et la deuxième verticale.

D'après une analyse effectuée par la suite, la réfection a permis d'enrayer les problèmes de courants d'air et d'humidité. Les propriétaires disent la maison plus chaude et beaucoup plus confortable depuis la réfection. Les factures de mazout ont baissé d'environ 770 $ par année. Le coût global de la réfection s'établit à 11 000 $ environ. La période de recouvrement s'estime donc à 7,7 ans, quand on ne tient pas compte du coût du nouveau bardage.



Jonction chevrons-mur

Étude de cas n° 2

Lieu	**Maidstone (Saskatchewan)**
Type	**Maison à ossature de bois, un étage et demi, trois chambres**
Autres données:	
• année de construction	**1920**
• superficie	**76 m²**
• degrés-jours	**6 000**

Partie de la maison	Description — Avant	Description — Après
Sous-sol	• Sous-sol creusé, sans isolant • Logement d'une citerne et du calorifère	• Pose d'une couche d'isolant (valeur RSI 2,1) à la face intérieure des murs du sous-sol • Pose d'isolant à valeur RSI 4,9 entre les solives du plancher de rez-de-chaussée, pour isoler le sous-sol de l'aire de séjour
Murs	• Intérieur en mauvais état; murs à peu près sans isolant	• Mise à nu de l'ossature et insertion de nattes de fibres de verre (valeur RSI 2,1) • Pose d'un pare-air-vapeur en polyéthylène de 0,15 mm d'épaisseur et étanchéisation de toutes les ouvertures
Toit-entretoit	• Entretoit renfermant une pièce au plancher fini en planches de 35 mm à feuillure, posées diagonalement sur des solives de 38 mm sur 89 mm à 400 mm d'entraxe • Aucun isolant autre qu'une mince couche de sciure entre les solives	• Isolation des chevrons et étanchéisation de leurs extrémités à l'aide de mousse d'uréthane • Injection d'isolant de fibres de verre pour porter la valeur RSI à 6,3 • Addition d'un pare-air-vapeur à l'intérieur
Fenêtres	• Fenêtres en mauvais état • Nombre excessif de fenêtres	• Remplacement des fenêtres originelles par des fenêtres étanches à double vitrage • Obstruction des fenêtres jugées "superflues" (dans la chaufferie, par exemple) et pose d'isolant à ces endroits
Portes	• Portes en mauvais état	• Installation de nouvelles portes en acier isolées
Système de chauffage	• Calorifère au mazout	• Réglage fin du calorifère, isolation des conduites et déplacement des registres d'air chaud
Ventilation	• Ventilation assurée par les fuites d'air	• Installation d'un échangeur de chaleur air-air pour améliorer la qualité de l'air dans la maison

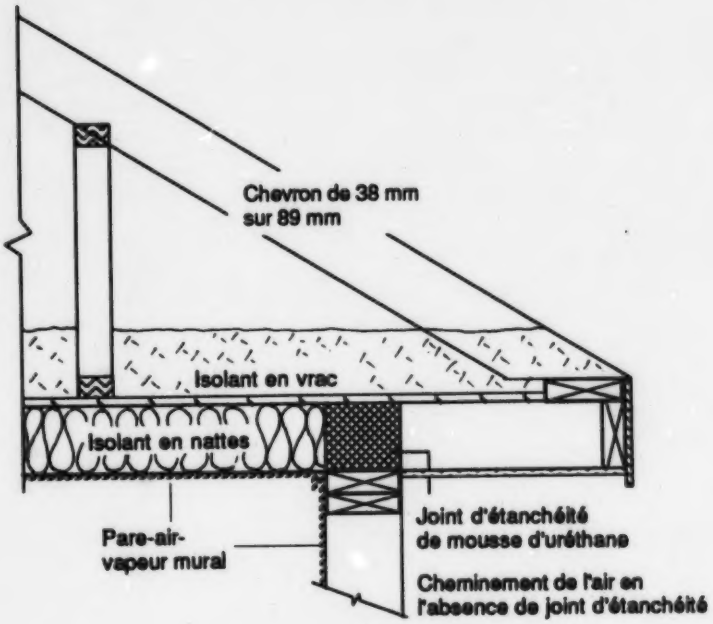
Exécution de la réfection

La maison de Maidstone a près de 70 ans et nécessitait des travaux de rénovation importants pour répondre aux normes modernes du bâtiment. Comme dans la plupart des vieilles maisons, l'infiltration d'air était le principal problème. Par conséquent, la réfection a d'abord visé à étancher la maison, puis, considération presque aussi importante, à augmenter son isolement thermique.

Le sous-sol a été isolé du reste de la maison par l'installation d'isolant de fibres de verre à grande résistance thermique entre les solives du plancher de rez-de-chaussée. Toutes les conduites de chauffage et les canalisations d'eau passant du sous-sol à l'aire de séjour ont été enveloppées dans de l'isolant pour empêcher les pertes de chaleur et le gel. Comme on jugeait trop coûteux et trop complexe de faire la réfection de la pièce de l'entretoit, on a isolé celle-ci du reste de la maison.

Un pare-air-vapeur a été ajouté du côté intérieur, de la façon la plus continue et soignée possible. Dans certains cas, on a dû emprisonner des portes et des fenêtres dans le pare-air-vapeur. Toutes les ouvertures accessoires et accidentelles ont été étanchées. On s'est servi de boîtiers étanches (polypans) pour isoler les appareils électriques (prises de courant, socles d'appareils d'éclairage, par exemple) qui traversaient le pare-air-vapeur. On a injecté de la mousse d'uréthane expansible aux endroits où il était impossible de poser une feuille de plastique. La trappe d'entretoit a été isolée et étanchée et une nouvelle trappe d'accès a été aménagée de l'extérieur.

Le coût global de la réfection (main-d'oeuvre et matériaux y compris) s'est établi à 10 522 $. Selon une première vérification effectuée depuis, la consommation du combustible a baissé de près de 90 %. Il en découle des économies de près de 1 500 $ par année, d'où une période de récupération simple de 7 ans.



Joint d'étanchéité en mousse d'uréthane à l'avant-toit

Étude de cas n° 3

Lieu	**Toronto (Ontario)**
Type	**Maison jumelée, ossature de bois, à deux étages**
Autres données:	
• année de construction	**1881**
• superficie	**121 m²**
• degrés-jours	**3 792**

Partie de la maison	Description — Avant	Description — Après
Sous-sol	• Fondations de briques sans isolant	• Réfection extérieure, à l'arrière, par l'addition de polystyrène extrudé de 100 mm d'épaisseur • Établissement d'une liaison thermique avec la maison voisine au niveau du mur ouest
Murs	• Murs sans isolant, quoique les matériaux mêmes assuraient une certaine résistance thermique	• L'aspect restauration-rénovation du projet a obligé à employer un procédé différent pour chaque mur; se reporter à la rubrique "Exécution de la réfection" pour plus de détails
Toit-entretoit	• Entretoit isolé à l'aide de vieille laine minérale de valeur RSI 1,0	• Pose, par-dessus les solives du plafond, d'un pare-air-vapeur continu de 0,15 mm d'épaisseur fixé de façon étanche à des blocs d'isolant rigide placés dans les débords de toit et aux pignons • Injection d'isolant de fibres cellulosiques à valeur RSI 10,8 dans l'entretoit
Fenêtres	• Fenêtres originelles en assez bon état et comportant des contre-châssis extérieurs	• Obstruction et isolation de trois fenêtres du sous-sol qui étaient mal ajustées • Remplacement d'une fenêtre en mauvais état, du côté sud, par une fenêtre à triple vitrage comportant un panneau-auvent
Portes	• Portes originelles en bois massif en assez bon état, mais comportant un coupe-bise détérioré	• Conservation de la double porte d'entrée originelle (côté nord) et remplacement du coupe-bise • Remplacement de la porte sud par une porte en acier isolée, munie d'un coupe-bise magnétique
Système de chauffage	• Vieux calorifère au mazout surdimensionné • Chauffe-eau au gaz	• Remplacement du calorifère au mazout par un calorifère au gaz à tirage induit et rendement moyen • Installation d'un chauffe-eau électrique, plus près du point d'utilisation
Ventilation	• Ventilation initialement assurée par les fuites d'air. Superficie totale des fissures et fentes équivalant à une ouverture 0,42 m² environ	• Installation d'un échangeur de chaleur air-air un an après l'exécution de la réfection (conduites posées au préalable) • Ventilation de l'entretoit assurée, comme par le passé, par les fuites d'air et les fissures des pignons

Exécution de la réfection

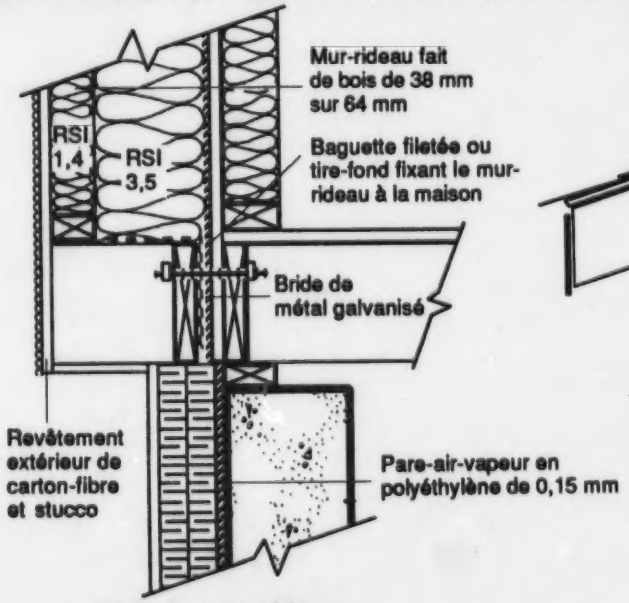
Située au centre-ville de Toronto, cette maison de style victorien, construite il y a cent ans, avait besoin d'être rénovée, restaurée et isolée. Les propriétaires désiraient toutefois lui conserver le plus grand nombre de ses caractéristiques architecturales. Les activités de restauration ont donc conditionné l'exécution des travaux visant à faire économiser l'énergie.

L'isolation thermique de l'entretoit et du sous-sol n'a pas présenté de difficultés particulières (si ce n'est qu'il a fallu travailler dans un espace restreint). La réfection des murs, en revanche, constituait un problème unique à plusieurs plans. Le mur nord a été isolé par l'injection de fibres cellulosiques de valeur RSI globale 2,8 dans l'ossature. Ce procédé était dicté par la nécessité de préserver les caractéristiques intérieures et extérieures du mur. L'application de deux couches de peinture émail à l'intérieur a réglé le problème du pare-vapeur et l'emploi de coupe-bise et de pare-vapeur ont transformé le mur même en pare-air.

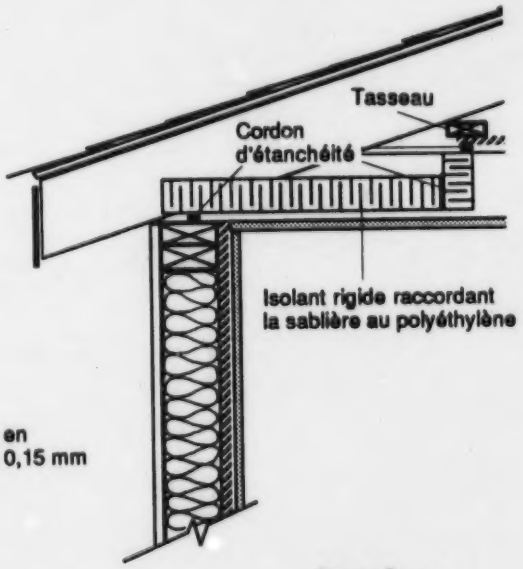
Quant au mur sud, il a d'abord été couvert d'un polyéthylène de 0,15 mm d'épaisseur, calfeutré et renforcé à ses joints par des tasseaux. Un mur-rideau fait de bois de 38 mm sur 64 mm a été mis en place à 190 mm, à son bord intérieur, du mur originel et deux couches d'isolant de fibres de verre (valeur RSI 4,9) ont été posés. On a ensuite appliqué quatre couches de stucco.

Le mur est étant un mur mitoyen, il ne nécessitait aucun isolement thermique. Le mur ouest est séparé de la maison voisine par un espace d'un mètre environ. Plutôt que d'isoler le mur, on a décidé de le raccorder aux murs de la maison voisine par une "liaison thermique". Pour ce faire, il a fallu construire un toit isolé (au niveau de l'entretoit) et des murs isolés aux extrémités du passage. On a posé des nattes de fibres de verre de valeur RSI 10,4 au niveau du toit. Les murs d'extrémité ont été remplis de nattes de valeur RSI 4,2 et de polystyrène expansé à haute densité de 50 mm d'épaisseur. Une porte isolée a été aménagée à chaque extrémité du passage pour permettre l'accès à l'arrière des maisons. Étant donné cette liaison thermique, les pertes de chaleur le long du mur ouest sont minimales.

L'aspect réfection des travaux de rénovation a coûté moins de 10 000 $. La diminution des pertes de chaleur par l'enveloppe et l'amélioration du rendement du calorifère ont contribué à faire baisser les frais de chauffage de 80 % à 90 % (les ramenant de 1 600 $ par année à moins de 200 $ par année). On estime la période de récupération à 6,5 ans environ.



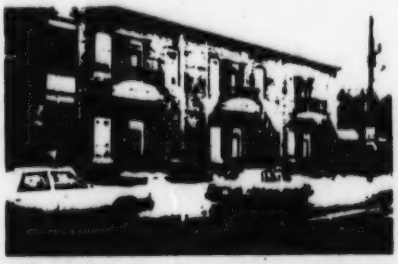
Base du mur-rideau



Sous-face

Étude de cas n° 4

Lieu	**Verdun (Québec)**
Type	**Habitation multifamiliale**
Autres données:	
• année de construction	**Années 1920**
• superficie	**710 m²**
• degrés-jours	**4 471**



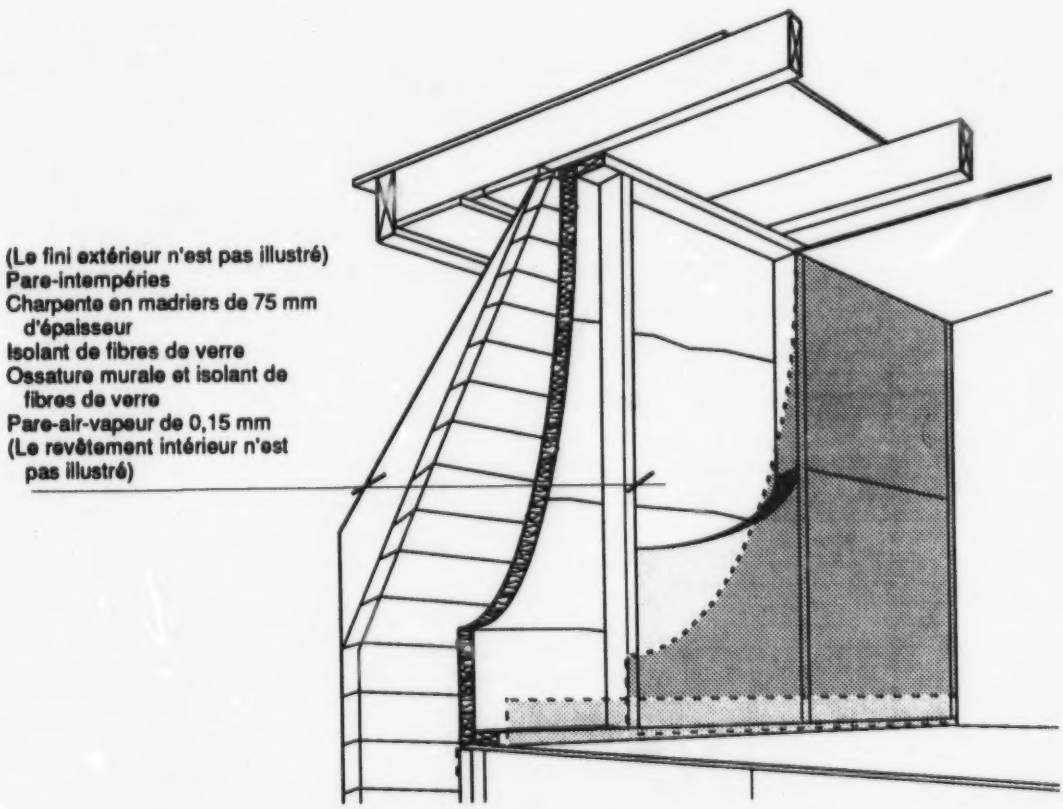
Partie de la maison	Description — Avant	Description — Après
Sous-sol	• Vide sanitaire d'un mètre de hauteur sans isolant • Fondations de moellons	• Isolation à l'aide d'uréthane de 38 mm • Pose d'un pare-air-vapeur en polyéthylène de 0,15 mm d'épaisseur
Murs	• Placage de brique et papier de construction sur charpente en madriers de 64 mm et fourrures de 18 mm avec latte et enduit	• Enlèvement de la latte et de l'enduit • Addition d'ossatures murales intérieures en bois de 38 mm sur 64 mm à 38 mm en deçà de la charpente en madriers pour permettre la pose de l'isolant
Toit-entretoit	• Feutre surfacé, plate-forme en planches de 18 mm, espace, plate-forme en planches de 18 mm, solives, latte et enduit	• Addition de 250 mm d'épaisseur de fibres de verre entre les solives pour assurer une valeur RSI totale 5,28 • Addition d'un pare-air-vapeur en polyéthylène du côté intérieur de l'isolant, avant la pose de placoplâtre
Fenêtres	• Doubles fenêtres à guillotine, en aluminium • Mauvaise qualité et mauvais état	• Installation de doubles fenêtres à l'anglaise dans des cadres d'aluminium avec barrière thermique
Portes	• Porte avant constituée d'un cadre de bois de 45 mm d'épaisseur et d'un simple vitrage • 2 portes arrières constituées d'un cadre de bois de 45 mm d'épaisseur et d'un simple vitrage	• Remplacement des portes originelles par des portes de 45 mm d'épaisseur, de type mortaise et tenon, avec vitrage isolant et coupe-bise posé en usine
Système de chauffage	• Appareil mural au gaz	• Installation de radiateurs-plinthes électriques
Ventilation	• Aucune	• Installation de ventilateurs dans la cuisine et les salles de bains

Exécution de la réfection

L'immeuble de Verdun a été construit au cours des années 1920 et, comme bien des édifices de l'époque, il comportait peu d'isolant, sinon l'isolant naturel que constituent les matériaux de construction. On a choisi de procéder à une réfection par l'intérieur, car le placage de brique était en assez bon état et que son remplacement aurait été beaucoup trop coûteux. De plus, l'isolation thermique s'intégrait à des travaux de rénovation plus importants. Une grande humidité avait fait pourrir une bonne part des madriers de charpente. Dans un cas, le mur arrière en madriers a dû être entièrement reconstruit à l'aide de poteaux de 38 mm sur 138 mm, pour permettre un meilleur isolement.

La réfection s'est faite par la construction d'une ossature murale en bois de 38 mm sur 64 mm, à 200 mm en deçà du mur extérieur. En décollant ainsi l'ossature murale, on a pu installer deux couches d'isolant. La première a été posée horizontalement entre la charpente en madriers et l'ossature et la deuxième a été installée verticalement entre les poteaux de la nouvelle ossature, la valeur RSI totale de l'isolant étant 2,8. La superposition de deux couches d'isolant à angle droit a en outre diminué les voies possibles de circulation d'air dans l'enveloppe thermique. Un pare-air-vapeur a été posé à la face intérieure de la nouvelle ossature, avant la mise en place du placoplâtre.

On a estimé le coût annuel de chauffage probable de la plupart des unités d'habitation à moins de 400 $ par année.



Réfection par l'intérieur

Étude de cas n° 5

Lieu	**Saint-Jean (Nouveau-Brunswick)**
Type	**Habitation multifamiliale, ossature de bois, 6 logements**
Autres données:	
• année de construction	**1841**
• superficie	**790 m²**
• degrés-jours	**4 768**

Partie de la maison	Description — Avant	Description — Après
Sous-sol	• Mur de béton et de moellons et poteaux de cèdre sur socle de béton • Aucun isolant entre les solives	• Réparation des murs de moellons par l'installation de nouveaux poteaux de bois traité sur socle de béton • Nettoyage des espaces entre les solives; puis, injection d'isolant de fibres de verre de valeur RSI 7 et pose d'un pare-air étanche
Murs	• Ossature de bois comportant de la mousse d'urée-formaldéhyde dans 80 % de ses cavités	• Injection d'isolant de fibres de verre de valeur RSI 3,5 • Pose d'un fond de clouage et de nattes de fibres de verre de 150 mm d'épaisseur sur les murs de l'étage supérieur • Pose d'un pare-air-vapeur de 0,10 mm d'épaisseur étanché à l'aide d'isolant acoustique
Toit-entretoit	• Ossature de bois sans isolant	• Construction d'un nouveau toit • Installation de nattes de fibres de verre de 150 mm d'épaisseur (valeur RSI 3,7) • Injection de laine minérale (valeur RSI 5,6) dans la section plate du toit
Fenêtres	• Fenêtres à l'anglaise, avec cadre de bois et simple vitrage	• Installation de nouvelles fenêtres à l'anglaise à double vitrage isolant et étanchéisation du joint de leur cadre et du pare-air-vapeur • Obturation des fentes du chambranle à l'aide de mousse expansible
Portes	• Panneaux de bois	• Installation de nouvelles portes de métal isolées, comportant un coupe-bise "Foam-Guard" et un dispositif de fermeture automatique
Système de chauffage	• Chauffage individuel au mazout, un par logement	• Installation de radiateurs-plinthes branchés sur le secteur et dotés de thermostats individuels
Ventilation	• Fenêtres ouvrantes	• Installation d'un ventilateur aspirant de 60 L/s par salle de bains et par cuisine • Ouverture des fenêtres

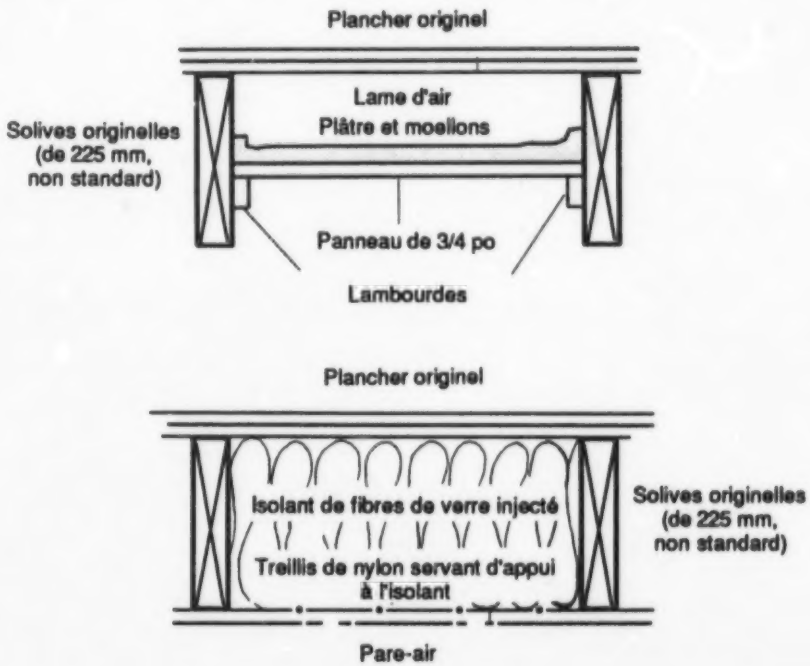
Exécution de la réfection

Construit il y a 146 ans, cet immeuble de Saint-Jean (Nouveau-Brunswick) avait besoin de rénovation : il fallait renouveler le câblage électrique, la plomberie, les portes et les fenêtres, construire une annexe et enlever la mousse d'urée-formaldéhyde des murs. Les travaux étaient d'une telle envergure que l'intégration de mesures de réfection au projet ne devait représenter qu'une faible partie du coût d'ensemble.

Une fois la mousse d'urée-formaldéhyde enlevée, les murs ont été rempli de nattes de fibres de verre et d'une couche de fibres de verre injectée. On a employé l'isolant injectable parce que la plupart des espaces entre les montants étaient irréguliers et ne permettaient pas l'usage de nattes standard. Ce genre d'isolant a aussi une plus grande valeur RSI que les nattes de fibres de verre et renferme un adhésif au latex qui lie les fibres les unes aux autres et aux montants pour empêcher le tassement.

Des fenêtres et des portes à bon rendement énergétique (douze au total) ont été installées. On a complété la réfection par un polyéthylène de 4 millièmes de pouce (ou mils) d'épaisseur, posé de la façon la plus continue possible et calfeutré à ses joints. Avant la réfection, quand les murs étaient isolés à la mousse d'urée-formaldéhyde, on estimait le coût annuel du chauffage à 10 130 $. Les estimations produites après la réfection l'établissent à 6 000 $, ce qui indique une baisse de près de 50 % des pertes de chaleur.

Le dessin ci-dessous montre comment on a isolé le vide sanitaire du reste de l'enveloppe. Une couche additionnelle de latte et enduit avait, à l'origine, été posée entre les solives du plancher de rez-de-chaussée pour diminuer les infiltrations d'air et créer une lame isolante d'air stagnant. Ce procédé était assez courant dans l'est du pays à l'époque où l'immeuble a été construit. Toutefois, au fil des années, l'ensemble avait perdu le peu d'efficacité qu'il avait. On a donc enlevé le plâtre pour permettre l'installation d'isolant; puis, on a posé un pare-air dessous celui-ci, pour empêcher l'air froid de le traverser sans entraver la dispersion de l'humidité accumulée dans l'espace entre les solives.



Isolation du vide sanitaire

ANNEXE E : REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les personnes suivantes de leur collaboration.

John Allen
Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources pétrolières
Colombie-Britannique

John Archer
Association canadienne des constructeurs d'habitations

Donna Bagdan
Ministère de l'Agriculture de l'Alberta

D. Baldwin
Federal Pioneer Ltd., Toronto

Peter Barclay
Association pour la conservation de l'énergie

Keith Bryant
Enerplan Consultants, Toronto

Fran Cameron
Société canadienne d'hypothèques et de logement

Bob Charest
Office des normes générales du Canada

Tom Cochren
Mr. Renovator, Hamilton

Dave Coon
Conseil de la conservation du Nouveau-Brunswick

Wayne Cullum
Westroc Industries Ltd., Mississauga

Darwin Curtis
Secrétariat à l'énergie du Nouveau-Brunswick

B. Darrah
Society of the Plastics Industry

Sylvia Davis
Ministère du Logement de l'Ontario

John DeGrace
Ministère de l'Énergie et des Forêts de l'Île-du-Prince-Édouard

Jacques Desbiens
Société d'habitation du Québec

John Dewill
Fiberglass Canada Inc.

Aiden Duff
Aiden Duff Construction Ltd., St. John's

Jon Eakes
Conseiller, Montréal

Goldie Edworthy
Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles de l'Alberta

Barbara Fillingham
Ontario Home Builders' Association

Chris Gates
Ministère de l'Énergie de l'Ontario

Doug Geddes
Institut canadien de chauffage, de la climatisation et de la réfrigération

Bill Griggs
Société canadienne d'hypothèques et de logement

Richard Hallé
Building Products of Canada Ltd., LaSalle

Gus Handegord
Conseiller, Ottawa

A. C. S. (Skip) Hayden
Ressources naturelles Canada

Jo Heringa
Ministère des Mines et de l'Énergie de Terre-Neuve

John Hockman
Appin Associates, Winnipeg

Dennis Houseman
Elite Eavestroughing Regina Ltd.

Mike Irwin
Dupont Canada Inc.

Dave Jennings
Saskatchewan Research Council

Eric Jones
Conseil canadien du bois

Robert Kane
Dow Chemical Canada Inc.

Ken Latta
Conseil national de recherches Canada

Mary Lawson
R.J. Nobles & Associates Ltd., Calgary

Alphée LeBlanc
U & A Contractors, Moncton

Doug Leeies
Logement Manitoba

Bill McDonald
Ministère de l'Énergie et des Mines du Manitoba

Dan McFadyen
Ministère de l'Énergie et des Mines de Saskatchewan

Gary MacLeod
Prebuilt Structures Ltd., Charlottetown

Daniel Mallette
Bureau des économies d'énergie, Montréal

Terry Mills
Master Building Group, Toronto

Gint Mitalas
Conseil national de recherches Canada

Alan Mitchell
Westmount Windows Ltd., Armdale (N.-É.)

Don Omysko
Forintek Canada Corp., Ottawa

Harold Orr
Conseil national de recherches Canada

John Parsons
K & P Contracting, St. John's

George Pennie
Banque de Montréal

Stan Pilarczyk
Hanson Inc., Toronto

Max Primgaard
Whistler Enterprises Ltd., Victoria

Jim Robinson
Robinson Builders, Headingly (Man.)

Carey Ryan
Ministère des Mines et de l'Énergie de Nouvelle-Écosse

Jim Savage
Ecology House, Toronto

Dave Scott
Conseil national de recherches Canada

Tom Smith
Aastro Insulation Ltd., Surrey

Peter Theodore
Edmonton Energy Conservation Centre

Gary Thompson
Delta Faucet of Canada Ltd., Toronto

David Tovey
Centre d'information sur la rénovation domiciliaire en Ontario

Stan Walker
Manville Canada Inc.

Elizabeth White
Conseiller, Stirling (Ontario)

Andrew Zdanowicz
Ministère du Logement de l'Ontario

REMERCIEMENTS : ÉTUDES DE CAS

Chris Hewitt
Conseiller technique,
Housing Alternatives
Saint-Jean (Nouveau-Brunswick)

Colin Munro
Architecte, Conseil de développement du logement communautaire
Montréal (Québec)

Robert Collins
Analyste en politique énergétique,
Développement économique : mines et petites entreprises
Énergie, Mines et Ressources
Whitehorse (Territoire du Yukon)

Randy Streliuff
Agent technique, Bureau des économies d'énergie et des énergies renouvelables,
Énergie, Mines et Ressources Canada